

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
Інститут енергозбереження та енергоменджменту

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт з дисципліни**

**СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**(навчальне електронне видання)**

для студентів напряму підготовки  
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Київ – 2015

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
Інститут енергозбереження та енергоменджменту

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт з дисципліни**

**СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**(навчальне електронне видання)**

для студентів напряму підготовки  
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

**Київ – 2015**

Системи електропостачання [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Уклад: А.О. Журавльов, І.В. Притискач, О.С. Ярмолук – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 77 с.

*Гриф надано Вченою радою ІЕЕ НТУУ «КПІ»*

(Протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 р.)

Е л е к т р о н н е   н а в ч а л ь н е   в и д а н н я

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

### СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

для студентів напряму підготовки

6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Затверджено на засіданні

кафедри електропостачання

Протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 р.

Укладачі: Журавльов Андрій Олександрович, ст. вик.

Притискач Іван Васильович, к.т.н., ас.

Ярмолук Олена Сергіївна, к.т.н., ас.

Відповідальний

редактор

Попов Володимир Андрійович, к.т.н., доц.

Рецензент

Данілін Олександр Валерійович, доц., к.т.н.

*За редакцією укладачів*

## **Зміст**

<b>Зміст .....</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторна робота № 1. Дослідження графіків електричних навантажень в системах електропостачання .....</b>	<b>7</b>
1.1. Теоретичні відомості .....	7
1.1.1. Відомості про електроприймачі, необхідні для розрахунку електричних навантажень .....	7
1.1.2. Розрахункове навантаження по нагріванні.....	9
1.1.3. Визначення розрахункового навантаження за наявності графіка навантаження.....	10
1.2. Опис лабораторного стенду .....	12
1.3. Завдання. ....	13
1.4. Методичні вказівки.....	13
1.5. Питання для самоконтролю. ....	13
1.6. Література .....	14
<b>Лабораторна робота № 2. Вивчення конструкції та маркування кабелів і проводів електричних мереж.....</b>	<b>15</b>
2.1. Теоретичні відомості .....	15
2.1.1. Різновиди кабельної продукції.....	15
2.1.2. Позначення кабелів .....	15
2.1.3.   Кабелів і дроти спеціальних електричних мереж .....	17
2.2. Опис лабораторного стенду .....	19
2.3. Завдання .....	20
2.4. Методичні вказівки.....	20
2.5. Питання для самоперевірки .....	20
2.6. Література .....	21
<b>Лабораторна робота № 3. Оперативно-диспетчерське управління в розподільчих електричних мережах .....</b>	<b>22</b>
3.1. Основні теоретичні положення. ....	22

3.1.1. Кому доручається виконання переключень. ....	23
3.1.2. Розпорядження про переключення.....	23
3.1.3. Бланк переключень.....	24
3.2. Опис лабораторної установки. ....	24
3.3. Робоче завдання. ....	27
3.4. Програма і методичні вказівки для виконання робочого завдання. ....	27
3.5. Контрольні запитання.....	28
3.6. Література. ....	28
<b>Лабораторна робота № 4. Дослідження впливу установок</b>	
<b>поздовжньої ємнісної компенсації на режим напруги в електричних</b>	
<b>мережах .....</b>	<b>30</b>
4.1. Основні теоретичні положення. ....	30
4.2. Опис лабораторної установки. ....	35
4.3. Робоче завдання. ....	40
4.4. Програма і методичні вказівки до виконання робочого завдання... ..	40
4.5. Контрольні запитання.....	42
4.6. Література. ....	43
<b>Лабораторна робота № 5. Дослідження впливу параметрів мережі на</b>	
<b>режим напруги при установці компенсуючих пристроїв.....</b>	<b>44</b>
5.1. Основні теоретичні положення ....	44
5.2. Опис лабораторної установки ....	47
5.3. Робоче завдання ....	49
5.4. Програма і методичні вказівки до виконання робочого завдання... ..	50
5.5. Контрольні запитання.....	52
5.6. Література. ....	52
<b>Лабораторна робота № 6. Дослідження аварійних режимів</b>	
<b>електричних мереж .....</b>	<b>53</b>
6.1. Основні теоретичні положення. ....	53
6.2. Інструкція по роботі з програмним забезпеченням.....	57

6.3. Робоче завдання .....	58
6.4. Рекомендації до виконання роботи.....	61
6.5. Контрольні питання .....	63
<b>Лабораторна робота № 7. Дослідження режиму напруги і вибір засобів підвищення якості електричної енергії.....</b>	<b>65</b>
7.1. Основні теоретичні відомості.....	65
7.2. Інструкція по роботі з програмним забезпеченням.....	70
7.3. Робоче завдання .....	72
7.4. Рекомендації до виконання роботи.....	74
7.5. Контрольні питання .....	77

## **Лабораторна робота № 1. Дослідження графіків електричних навантажень в системах електропостачання**

Мета роботи – вивчити методи і набути навичок визначення розрахункових навантажень в системах електропостачання на підставі результатів експериментальних досліджень.

### **1.1. Теоретичні відомості**

#### **1.1.1. Відомості про електроприймачі, необхідні для розрахунку електричних навантажень**

При визначенні електричних навантажень промислових підприємств, що діють або проєктованих, необхідно враховувати режим роботи, потужність, напругу і рід струму електроприймачів (ЕП).

Розрізняють три режими роботи ЕП:

- тривалий, в якому ЕП може працювати тривалий час, причому перевищення температури його окремих частин не виходить за межі, що встановлюються нормами;
- короткочасний, при якому робочий період не настільки тривалий, щоб температури його окремих частин ЕП могли досягти сталого значення, період же зупинки настільки тривалий, що ЕП встигає охолотитися до температури навколишнього середовища;
- повторно-короткочасний, що характеризується коефіцієнтом тривалості включення %:

$$TB = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100. \quad (1.1)$$

У цьому режимі робочі періоди  $t_p$  чергуються з періодами пауз  $t_0$ , а тривалість всього циклу не перевищує 10 хв. При цьому нагрів не перевищує

допустимого, а охолодження не досягає температури навколишнього середовища.

Самостійну групу ЕП складають нагрівальні апарати, електродвигуни і електропечі, що працюють в тривалому режимі з постійним або малозмінним навантаженням. Самостійну групу також складають освітлювальні прилади (лампи розжарювання і люмінесцентні), відмітна особливість яких – різка зміна навантаження протягом доби і постійність навантаження при включеному освітленні.

Основна характеристика ЕП, використовувана при розрахунку електричних навантажень, – їх номінальна потужність  $P_n$ . Оскільки для більшості ЕП коефіцієнт корисної дії близький до одиниці, приймають, що ця потужність рівна приєднаною, тобто потужності, споживаній з мережі.

Номінальна (встановлена) потужність електродвигунів тривалого режиму є паспортною потужністю двигуна, позначеною на заводській табличці. Для двигунів повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму ( $TB = 100\%$ ).

$$P_i = P_n \sqrt{TB_n}, \quad (1.2)$$

де  $P_n$ ,  $TB_n$  – відповідно паспортна потужність і тривалість включення.

Для трансформаторів як номінальна задається повна потужність  $S_n$ .

У розрахунках електричних навантажень використовують також ряд показників індивідуальних графіків навантаження ЕП: коефіцієнти використання  $K_{\text{в}}$ , завантаження  $K_z$ , потужності  $\cos\varphi$  і ін. Ці показники беруть з довідкових таблиць, отриманих в результаті експериментальних досліджень на підприємствах, що діють; вони задаються диференційовано для різних груп ЕП однакового режиму роботи стосовно кожної галузі промисловості.

Коефіцієнт  $K_{\text{в}}$  характеризує використання активної потужності ЕП і рівний відношенню його проміжної активної потужності до номінальної потужності:



$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{пр.}}}{P_{\text{н.}}}; \quad (1.3)$$

Коефіцієнт  $K_{\text{з}}$  рівний відношенню середньої активної потужності ЕП за час його включення до номінальної потужності:

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{сп.}}}{P_{\text{н.}}}; \quad (1.4)$$

Величина  $\cos\varphi$  (або  $\text{tg}\varphi$ ) є середньою статичною за максимально навантажену зміну.

### 1.1.2. Розрахункове навантаження по нагріванні

У технічних даних провідника будь-якого типу указується незмінне в часі струмове навантаження  $I_{\text{н}}$ , тривало допустима за умовами нагрівання. Це навантаження порівнюється з розрахунковим навантаженням  $I_{\text{р}}$ , створюваною ЕП, в якості якої приймається незмінне в часі струмове навантаження, еквівалентне по явищам нагрівання навантаження ЕП, що фактично змінюється. Провідники вибираються з умови:

$$I_{\text{р}} < I_{\text{н}} \quad (1.5)$$

Розрахункове навантаження може задаватися розрахунковим струмовим навантаженням  $I_{\text{р}}$ , розрахунковим повним навантаженням  $S_{\text{р}}$  або розрахунковим активним  $P_{\text{р}}$  і реактивним  $Q_{\text{р}}$  навантаженнями.

В якості розрахункового навантаження по нагріванню приймають максимально ефективне навантаження той, що ковзає уподовж графіка навантаження інтервал часу  $\theta$ , рівний трьом постійним часу нагріву мережі:

$$\theta = 3T_0 \quad (1.6)$$

Якщо час  $T_0$  не відомий, він приймається  $T_0 = 10$  хв. В цьому випадку розрахунковим навантаженням є півгодинний максимум навантаження.

Для більшості ЕП, виключаючи ЕП з різкозмінного навантаження, максимальне ефективне навантаження за найбільш навантажений інтервал часу  $\theta$  приблизно рівне середньому навантаженні. Тому за відсутності графіка навантаження в якості розрахункового приймається максимум середнього навантаження за цей інтервал.

### 1.1.3. Визначення розрахункового навантаження за наявності графіка навантаження

Максимальному навантаженню за інтервал часу  $\theta$  відповідає ділянка графіка навантаження, що містить глобальний максимум за умови рівності ординат його граничних значень (рис. 1.1).

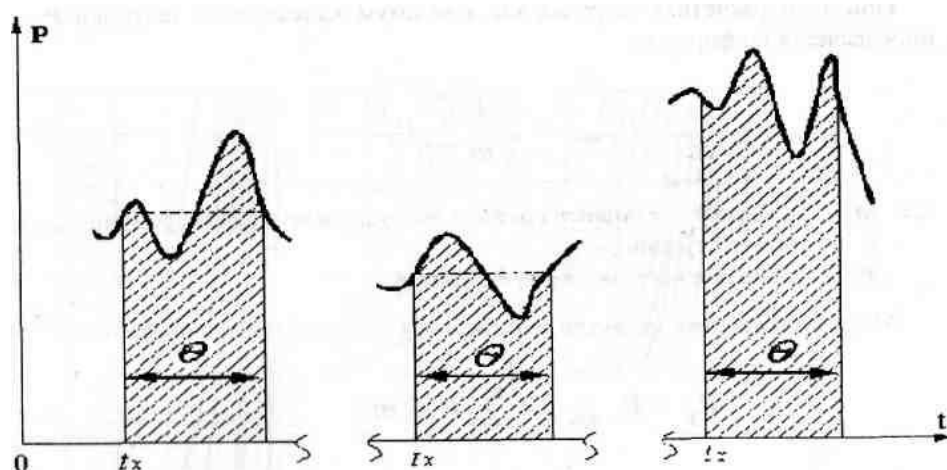


Рис. 1.1. Графіки навантаження

Для визначення цього інтервалу можна скористатися шаблоном з прозорого паперу, на якому відмічений інтервал часу  $\theta$ . Шаблон пересувають уздовж осі часу до такого положення, при якому усередині нього знаходиться максимум навантаження, а ординати графіка на границях шаблону рівні між собою. При ступінчастому графіку навантаження з тривалістю ступеня  $\delta t$  шаблон вибирають з тривалістю  $\theta_1 = \theta + \delta t$ .

Найбільше навантаження визначатиметься положенням шаблону, при якому різниця його крайніх ступенів, раніше позитивна, стає негативною (рис. 1.2).

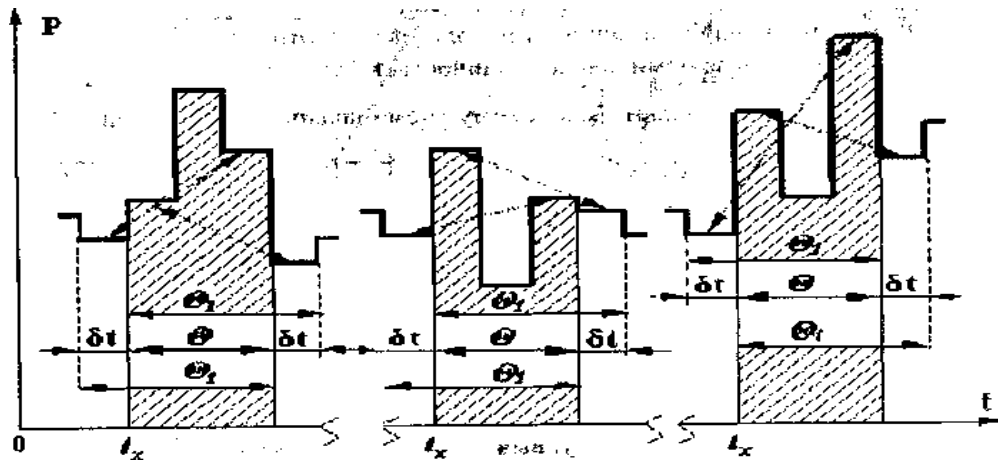


Рис. 1.2. Положення шаблону при визначенні навантаження

При цьому розрахункове навантаження як максимум ефективного навантаження  $P$ , визначається за формулою:

$$P_p = P_{\text{еф.}} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_j^2}, \quad (1.7)$$

де  $m$  – кількість ступенів графіка навантаження в інтервалі часу  $\theta$ , шт.;  $j$  – номер ступеня;  $P_j$  – значення навантаження в  $j$ -м інтервалі.

Максимум середнього навантаження за інтервал  $\theta$  підраховується по формулі:

$$P_p = P_{\text{ср.}} = \sum_{j=1}^m \frac{P_j}{m}, \quad (1.8)$$

Слід зазначити, що розрахунок навантажень не може бути достатньо точним через можливі зміни технологічного процесу (зміна розрахункових коефіцієнтів). Враховуючи, що наростання шкали стандартних перетинів провідників складає приблизно 20%, а номінальних потужностей трансформаторів – 40%, при розрахунку електричних навантажень допускають точність  $\pm 10\%$ .

## 1.2. Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд дозволяє моделювати одну реалізацію графіка активного навантаження цехового трансформатора і чотирьох розподільних силових шаф, що живлять характерні групи ЕП механічної ділянки компресорної станції за максимально навантаженою зміну.

Стенд живиться від джерела постійного струму. Повна шкала встановлених на стенді приладів відповідає реальному навантаженню 50 кВт для СП і 200 кВт для цехового трансформатору.

Дані ЕП, навантаження яких моделюється на стенді, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

### Початкові дані електроприймачів

Номер групи	Номер ЕП	Найменування електроприймачів	Потужність одного ЕП $P_{\text{нп}}, \text{кВт}$	Коефіцієнт потужності $\cos\phi_{\text{п}}, \text{відн. од.}$	Кількість $n_i$ шт	Коефіцієнт використання $K_{\text{в}}, \text{відн. од.}$
1	1	Токарні верстати	3	1,33	30	0,14
	2	Фрезерні верстати	5	1,33	12	
	3	Строгальні верстати	6	1,33	5	
2	1	Вентилятори	1	0,75	4	0,65
	2	Вентилятор	38	0,75	1	
3	1	Верстати-автомати	4	1,17	10	0,25
	2	Агрегатні верстати	10	1,17	6	
4		Лампи люмінесцентні	0,1	0,33	280	0,9

Графік електричного навантаження моделюється за допомогою крокового шукача, особливість роботи якого – короткочасне відключення навантаження при перемиканні своїх контактів. Тому при виконанні роботи необхідно реєструвати тільки свідчення приладів, відповідні черговому значенню модельованого графіка. Масштаб часу при моделюванні вибраний таким чином, що 5 з графіка, отриманого на лабораторному стенді, відповідають 6 хв. реального графіка навантаження.

### 1.3. Завдання.

1. Дослідити на моделі і побудувати графіки навантаження окремих груп ЕП і цехового трансформатора.
2. По отриманих графіках визначити максимальні середнє, ефективне та розрахункове навантаження кожної групи ЕП і всієї ділянки.
3. Визначити розрахункове навантаження кожної групи ЕП і всієї ділянки за методом розрахункового навантаження.
4. Зробити висновки по роботі.

### 1.4. Методичні вказівки

1. Моделювання навантаження виконується для груп ЕП, вказаних викладачем. Кожну групу ЕП підключають тумблерами В1 ... В4 на лицьовій панелі лабораторного стенду.
2. Для початку моделювання необхідно натиснути кнопку "Пуск".
3. Моменти часу, відповідні початку і закінченню процесу моделювання, вказуються сигнальними лампочками "Початок відліку" і "Кінець відліку".
4. Для зупинки процесу моделювання на якийсь час, необхідне для реєстрації свідчень приладів, слід натиснути кнопку "Стоп".
5. При визначенні  $P_p$  по графікам навантаження постійну часу нагріву мережі прийняти  $T_0 = 10$  хв.

### 1.5. Питання для самоконтролю.

1. Які режими ЕП називають тривалим, короткочасним і повторно-короткочасним?
2. Який фізичний сенс розрахункового навантаження по нагріву і яке значення прийнято при дослідженнях і розрахунках в якості цього навантаження?
3. Чому розрахункове навантаження визначається на інтервалі тривалістю  $\theta = 3T_0$ ?
4. Як визначити найбільш навантажений інтервал  $\theta$  на графіку навантаження?
5. Як підраховується розрахункове навантаження на цьому інтервалі?

### **1.6. Література**

1. Ліпкин Б.Ю. Електропостачання промислових підприємств і установок. – М.: Вища шк., 1991, ст 376.
2. Князевський Б.А., Ліпкин Б.Ю. Електропостачання промислових підприємств. – М.: Вища шк., 1989, ст. 92-114.

## **Лабораторна робота № 2. Вивчення конструкції та маркування кабелів і проводів електричних мереж**

Мета роботи — ознайомитися з сучасними промисловими зразками проводів і кабелів, вивчити їх маркування, конструктивного виконання і область застосування.

### **2.1. Теоретичні відомості**

#### **2.1.1. Різновиди кабельної продукції**

Кабельна продукція для електричних мереж промислових підприємств розрізняється за матеріалом струмопровідної жили і оболонки, видом ізоляції і класом напруги, числу жив, умовам застосування кабелів.

Найбільш поширені кабелі з просоченою паперовою ізоляцією. Вони виготовляються з мідними і алюмінієвими жилами, в свинцевій або алюмінієвій оболонці, з різними захисними покриттями залежно від призначення і умов експлуатації.

Все більш широке застосування в даний час знаходить пластмасова ізоляція, при якій кабелі виготовляються без металевих оболонок. На початку 80-х років розроблені кабелі із збільшеними допустимими тепловими навантаженнями, що досягається за рахунок підвищених температур нагріву просоченої паперової ізоляції.

#### **2.1.2. Позначення кабелів**

Позначення кабелів складається з буквеної і цифрової частин. Цифрова частина позначає кількість струмопровідних жил і їх перетин. Решта властивостей кабелю відбивається в буквеній частині позначення. Порядок кодування і розшифровки позначення зображений на рис. 2.1.

Є наступні особливості в позначеннях кабелів, які корисно знати при практичній діяльності. Церезінове просочення забезпечує нестікання ізоляції

при будь-яких перепадах кабельної траси. Мідна жила, на відміну від алюмінієвої, не позначається. Кабелі з гумовою ізоляцією мають в своєму позначенні букву "Р". Кабелі з просоченою ізоляцією можуть виконуватися із об'єднаним просоченням.

Н			– З покриттям, що не поширює горіння
Т			– Що прокладається в трубі
		В	– Для вертикальної прокладки
		Г(Ш)	– Голий (покритий пластмасовим шлангом)
Б	К	П	– Броньований двома сталевими стрічками, круглими або плоскими проволочками
С		А	– Свинцева або алюмінієва оболонка
		О	– Окремо ізольовані жили
		А	– Алюмінієва жила
		Ц	– Церезінове просочення

**а)**

Б		Шв	– Броньований двома сталевими стрічками або в шлангу з полівінілхлоридного пластика
		Г	– Голий
В	П	А	– Оболонка з полівінілхлоридного пластика, поліетилену або алюмінію
		О	– Окремо ізольовані жили
В		П	– Ізоляція з полівінілхлоридного пластика або поліетилену
		А	– Алюмінієва жила

**б)**

Рис. 2.1. Позначення типів кабелів: а) кабелі з паперовою ізоляцією і в'язким просоченням; б) кабелі з пластмасовою ізоляцією.



В цьому випадку в позначення вводиться буква "В" через дефіс. Якщо через дефіс вводиться буква "У", – так позначається кабель з посиленням антикорозійним просоченням. Кабель із збільшеними тривало допустимими струмами позначається буквою "У" без дефіса.

Деякі подушки кабелів позначаються буквами "л", "2л", "п". "в"; відсутність подушок позначається буквою "б". Рядкові букви "п" і "в" можуть означати також різновид шлангу, що покриває кабель.

### 2.1.3. Кабелів і дроти спеціальних електричних мереж

Мережі для багатоамперних установок змінного струму виконуються провідниками з великим перетином у вигляді круглих, трубчастих, прямокутних або коробчатих шин [6]. В якості гнучкої частини, наприклад для короткої мережі електропечей, використовують кабелі марки МГГ-500, МГГ-1000, зібрані з мідних провідників перетином 1 мм<sup>2</sup>, або спеціальний гнучкий водоохолоджуваний кабель типу КВС-1000.

Кабель складається із сталеві спіралі, утворюючої внутрішній канал для води, навколо якого розташовані мідні дроти загальним перетином 1000 мм<sup>2</sup>, зовні кабель має гумову оболонку. Кабель КВС-1000 допускає струм 4500 А при високій щільності струму (4,5 А/мм<sup>2</sup>) за рахунок водяного охолодження.

Мережі в пожежонебезпечних приміщеннях виконують так, щоб не допускалася можливість утворення електричної іскри, а також збільшення температури вище нормованої. Тому в них не вирішується прокладка голих проводів. Як правило, проводка виконується захищеними ізольованими проводами – трубчастими проводами в металевих оболонках, проводами в сталевих трубах (тонкостінних) або кабелями з металевою поліхлорвініловою або нефритовою (негорюча гума) оболонкою. Всі з'єднання проводок виконуються в спеціальних коробках з жаростійкої пластмаси або сталі з не проникними для пилу ущільненнями. Застосування поліетиленових і вінілпластових труб для електропроводок забороняється, оскільки ці труби згорають.

У приміщеннях всіх класів допускається прокладка ізольованих проводів марок АПВ і АПР на ізоляторах при напрузі не вище 250 В щодо землі і при розташуванні проводки на недоступній висоті далеко від скупчення горючих речовин, а також кабелів ААГ, ААШв, ААБВГ, АВВГ, АСРГ і ін. У приміщеннях класів П-П; П-Па, П-ПІ допускається застосування відкритих тролейних кранових проводів за умови, що вони не будуть розташовані над матеріалами, які можуть запалати від розжареної частинки металу дроту або струмоприймача, що впала. У приміщеннях же класу П-І струмопровід до кранів повинен бути здійснений шланговим кабелем КРІТ.

У вибухонебезпечних приміщеннях класів В-І і В-Іа застосовувати алюмінієві провідники не допускається, оскільки при короткому замиканні розжарені частинки алюмінію не охолоджуються в повітрі, а продовжують горіти. Проводка виконується вибухонепроникною, що досягається застосуванням кабелів марки ВБВ або ізольованих проводів марок ПВ і ПРТО, що прокладаються у водогазопровідних сталевих трубах, що сполучаються спеціальними вибухозахищеними фітингами виконання ВЗГ. Змонтовані трубопроводи випробовуються на щільність тиском в приміщеннях класу В-І до  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  і класів В-Іа, В-П, В-Па до  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ . У приміщеннях класів В—Іб; В-П, В-Па і зовнішніх установок класу В-Іг допускається застосування провідників з алюмінієвою жилою; вони вибираються як для вибухонебезпечних приміщень. Для приміщень класу В-П необхідне застосування броньованих кабелів АВБВ, АВБШВ, АВББГ, ААБлГ або проводів в сталевих трубах; для В-Па допускається застосування неброньованих кабелів ААГ, АВВГ, АВРГ, АНРП.

Для живлення пересувних електроприймачів, кранів, тельферів і інших ЕП у всіх приміщеннях застосовується гнучкий шланговий кабель марок КРПТ і ГРШ. Для живлення підлогових машин і маніпуляторів можуть використовуватися тролі, що вмонтовуються в закритих каналах в підлозі, а для зовнішніх козових кранів – особливі стійкий з шарнірними струмоз'ємниками.

Двопровідні мережі для живлення зварювальних установок виконуються двох- чи чотирьохжильними кабелями АСБГ, АВРБГ, АНРБГ, чотирьохжильними кабелями ААБГ, а також проводам АПРТО, прокладених в трубах в коробах. Для зниження реактивних опорів трипровідні мережі виконують багатожильними кабелями або закритими шинопроводами з розташуванням шин по схемі спарених фаз. Марку кабелю для прокладки в реальних умовах спеціальних електричних мереж з урахуванням способів прокладки по естакадах і вологості приміщень вибирають згідно [3, 4], а також інструктивних матеріалів, якими забезпечуються всі проектні організації, наприклад [5].

## **2.2. Опис лабораторного стенду**

Лабораторний стенд містить 25 зразків кабелів і проводів, що випускалися промисловістю СРСР. На кожному зразку проведено оброблення, що дозволяє ознайомитися з елементами конструкції, визначити основні характеристики зразків, встановити область їх застосування.

Стенд дозволяє перевірити правильність визначення марки дроту або кабелю по їх конструкції і вибрати конструкції за заданим маркуванням. Для цього необхідно:

- 1) подати живлення 220 В змінного струму на стенд;
- 2) включити тумблер "Мережа" (при цьому запалюється індикатор);
- 3) включити вгору тумблер з верхнього ряду, номер якого відповідає номеру зразка, що перевіряється; визначити марку зразка і включити тумблер з нижчого ряду, відповідний передбачуваній марці; після цього натиснути кнопку "Відповідь"; правильній відповіді відповідає загорання індикатора "Вірно", а неправильному- "Невірно";
- 4) натиснути кнопку "Скидання", обидва тумблери поставити в початкове нижнє положення.

При визначенні конструкції кабелю операції виконуються аналогічно, проте завдання марки встановлюється тумблерами нижнього ряду, а відповіді – верхнього ряду.

### **2.3. Завдання**

1. Ознайомитися з конструкціями кабелів і проводів.
2. Вивчити маркування і набути навичок в оцінці перетинів жил кабелів і проводів.
3. Самостійно перевірити знання конструкцій і маркування кабелів і проводів за допомогою лабораторного стенду.

### **2.4. Методичні вказівки**

1. При ознайомленні з конструкціями кабелів звернути увагу на наступні складові кабелю: жилу, ізоляцію; подушку; броню; зовнішній покрив. Послідовність букв в маркуванні кабелів і проводів відповідає вказаній послідовності складових кабелю.
2. При вивченні перетинів жил кабелю необхідно спочатку навчитися швидко знаходити перетини крупної жили по її діаметру, визначеному як за допомогою лінійки, так і без неї. Далі слід приступити до вивчення жил сегментної форми і співвідношення перетинів основної жили і перетину нульового (четвертого) провідника.
3. Знання рекомендується перевіряти на стенді, починаючи з простих конструкцій.

### **2.5. Питання для самоперевірки**

1. Які перетини силових кабелів і проводів прийняті стандартами?
2. Які основні конструктивні елементи кабелів, призначення і матеріали їх виконання?
3. У чому полягає структура і особливості маркування кабелів і проводів?
4. Яке число жил і співвідношення їх перетинів для кабелів до 1000 В і вище?

## 2.6. Література

3. Єдині технічні вказівки по вибору і застосуванню електричних кабелів (кабелі силові). – Промислова енергетика, 1977 № 10. с.55-59.
4. Зміни № 1 до "Єдиних технічних вказівок по вибору і застосуванню електричних кабелів (кабелі силові). – Промислова енергетика, 1978 № 8, с. 63.
5. Звідні таблиці по кабельних виробках. Розділ I. Технічні дані кабелів і проводів, 2-а редакція. – Харків: УГПІ ТПЕП, 1983.
6. Мукоєєв Ю.Л.. Електропостачання промислових підприємств. – М: Енергія, 1973, с. 245-262.
7. Соколов Б.А., Соколова Н.Б.. Монтаж електричних установок. – М.: Енергоатоміздат 1991, с. 416-458.

## **Лабораторна робота № 3. Оперативно-диспетчерське управління в розподільчих електричних мережах**

Мета роботи – вивчення схем електричних мереж, вивчення послідовності виконання оперативних переключень і отримання практичних навичок оперативної роботи на тренажері.

### **3.1. Основні теоретичні положення.**

В зв'язку з розвитком промисловості і житлово-комунального будівництва в містах росте народногосподарське значення міських електричних мереж і до них пред'являються все більш високі вимоги надійного і безперебійного постачання електроенергією споживачів.

Перерва в електропостачанні промислових споживачів міста викликає простої підприємств, недостатній випуск продукції, в деяких випадках пошкодження обладнання і приносить державі великі збитки.

Автоматизація міської електричної мережі дозволяє створити досконалі схеми електропостачання і потребує від експлуатаційного персоналу підвищення рівня знань. Найважливішою частиною роботи чергового персоналу електричних станцій і підстанцій є виконання переключень в розподільчих пристроях. Від безпомилковості дій цього персоналу при переключеннях залежить безаварійна робота і безперебійне електропостачання промисловості, транспорту, сільського господарства і побутових споживачів. Проте, в енергосистемах все ще мають місце аварії, що викликані помилками персоналу при виконанні операцій з роз'єднувачами і заземлюючими ножами, а також внаслідок недостатніх знань і порушення порядку і послідовності переключень.

З вищесказаного випливає, що необхідно підвищувати рівень і культуру обслуговування міських електричних мереж. Тому прищеплювання студентам необхідних навичок оперативної роботи – важлива задача.

### 3.1.1. Кому доручається виконання переключень.

Виконання переключень в РПр доручено порівняно невеликій кількості людей – оперативному персоналу, навченому відповідним чином і підготовленому до роботи в особливих умовах. Особливість оперативної роботи полягає в тому, що переключення приходиться вести в діючих РУ, коли обладнання високої напруги знаходиться під напругою і навантаженням.

При переключеннях персонал повинен бути уважним, цілеспрямованим і дисциплінованим. Він має досконало знати схеми обслуговування РПр і наочне розташування всіх електричних апаратів.

Персоналу повинні бути добре відомі правила ТБ проведення комутаційних операцій, їхня послідовність і ті дії з пристроями релейного захисту і автоматики, які потрібно виконувати при зміні електричних з'єднань.

### 3.1.2. Розпорядження про переключення.

Будь-яка зміна оперативного стану обладнання чи окремих його елементів може порушити єдність енергосистеми, тому всі операції з обладнанням виконуються тільки за розпорядженням осіб, в оперативному управлінні яких воно знаходиться.

Розпорядження про виконання переключень дається безпосередньо підлеглому персоналу. В розпорядженні вказується послідовність виконання операції і кінцева мета переключень.

Особа, яка одержала розпорядження, зобов'язана повторити його і отримати підтвердження про те, що розпорядження правильно зрозуміли.

В практиці експлуатації енергосистем добре зарекомендувала себе така форма отримання завдання на переключення, як звертання місцевого персоналу до диспетчера з наперед продуманим, згідно дозволеної заявки, оперативним станом схеми порядком операцій і отримання дозволу диспетчера на його виконання.

Отримане завдання на переключення записується в оперативний журнал, послідовність операцій уточняється за добовою оперативною схемою і при необхідності складається бланк переключень.

### 3.1.3. Бланк переключень.

Бланк переключень є оперативним документом. У бланку в технологічній послідовності записують всі операції з комутаційними апаратами і колами оперативного струму, з приладами релейного захисту і автоматики, операції по перевірці відсутності напруги, накладенню і зняттю заземлень та ін. Кожна операція, що заноситься в бланк, повинна мати порядковий номер.

Переключення за бланком виконуються в наступній послідовності:  
на місці переключень персонал перевіряє за надписом найменування приєднання і назву обладнання. Впевнившись в правильності вибраного приєднання і апарату, контролюючий записує за бланком підлягаючу виконанню операцію;  
виконуючий операцію повторює її зміст і , отримавши підтвердження контролюючого, виконує її;  
по мірі виконання за бланком окремих операцій для виключення пропуску наступної операції в ньому роблять відповідні нотатки. Всі операції виконуються строго за бланком. Змінювати порядок переключень забороняється.

## 3.2. Опис лабораторної установки.

Лабораторна установка являє собою оперативно-диспетчерський пункт, живлення якого здійснюється на постійному струмі від блоку живлення, виконаного за допомогою трансформатора 220/24 В потужністю 30 ВА. Випрямляч виконаний за мостовою схемою за допомогою діодів Д 226, і від нього живляться шини живлення ШП-1 і ШП-2, а також шини живлення ШСП.

Кожна схема має лампочку сигналізації зеленого кольору, загорання якої вказує на готовність схеми до роботи. Також в схемах живлення є лампочка



сигналізації червоного кольору, загорання якої вказує про неправильні дії оператора, що виконує переключення на даній схемі.

Якщо оператор правильно виконав всі операції по переключенням, то червона лапочка не загориться.

Схема живлення і сигналізації тренажера зображена на рис.1.

Приклад.

Завдання. Увімкнути лінію, що відходить (рис. 3.2). порядок операцій на лініях, що мають вимикач з телеуправлінням і лінійний роз'єднувач:

1. Зняти заземлення.
2. Увімкнути шинний роз'єднувач.
3. Увімкнути високовольтний вимикач.
4. Увімкнути телеуправління.

Опис роботи схеми.

Для ввімкнення схеми в роботу вмикаємо тумблер Т, при цьому загорається зелена лампочка в колі ШП-1-ШП-2, що вказує на готовність схеми до роботи.

При знятті заземлення відключаємо тумблери  $Z_1$  і  $Z_2$ , при цьому розмикаються нормально-замкнуті (н.з.) контакти. Коло шин живлення ШП-1 і шин живлення сигналізації ШСП розімкнене нормально-відкритими контактами ШР<sub>1</sub>, ЛР<sub>2</sub>, В, ТУ. Для ввімкнення шинного роз'єднувача (ШР) вмикаємо тумблер ШР, його контакти ШР<sub>1</sub> замикаються, а н.з. контакти ШР<sub>2</sub> розмикаються. Коло ШП-1-ШСП розімкнуте контактами  $Z_1$ ,  $Z_2$ , н.з. контактами ШР<sub>2</sub> і н.в. контактами ЛР<sub>2</sub>, В, ТУ.

Вмикаємо лінійний роз'єднувач. При цьому розмикаються н.з. контакти ЛР<sub>1</sub> і замикаються н.в. контакти ЛР<sub>2</sub>. Коло ШП-1-ШСП розімкнуте контактами  $Z_1$ ,  $Z_2$ , н.з. контактами ЛР<sub>1</sub> і н.в. контактами В, ТУ.

Вмикаємо високовольтний вимикач, його н.в. контакт замикається, коло ШП-1-ШСП залишається розімкнуте контактами  $Z_1$ ,  $Z_2$ , н.з. контактами ШР<sub>2</sub> і ЛР<sub>1</sub> і н.в. контактами ТУ.

Вмикаємо телеуправління, при цьому його н.в. контакт замикається. Коло сигналізації розімкнене контактами  $З_1$ ,  $З_2$ , н.з. контактами ШР<sub>2</sub>, ЛР<sub>1</sub>. Таким чином, порядок операцій був проведений правильно і сигнал на ШСП не надійшов.

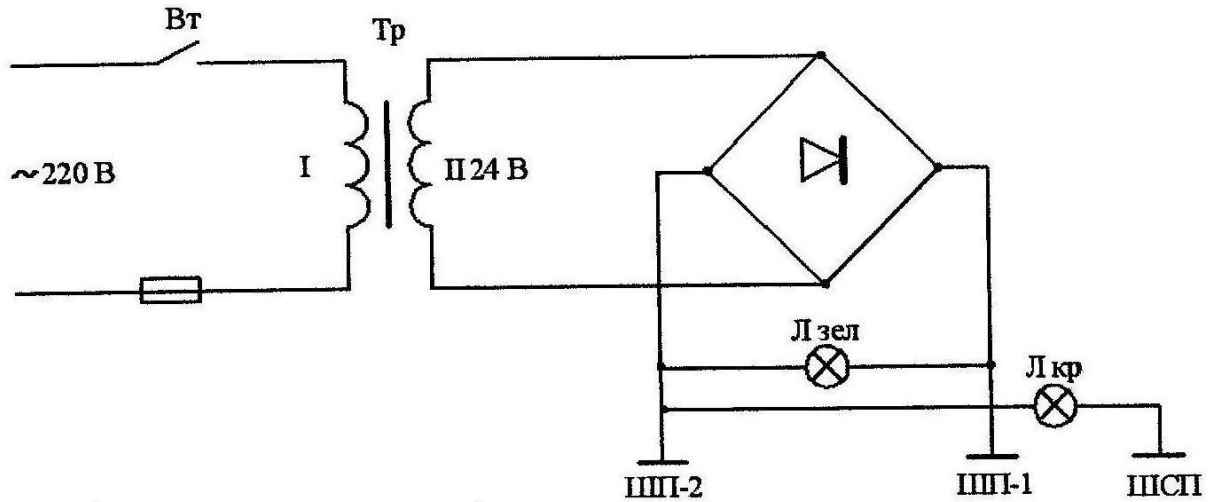


Рис. 3.1.

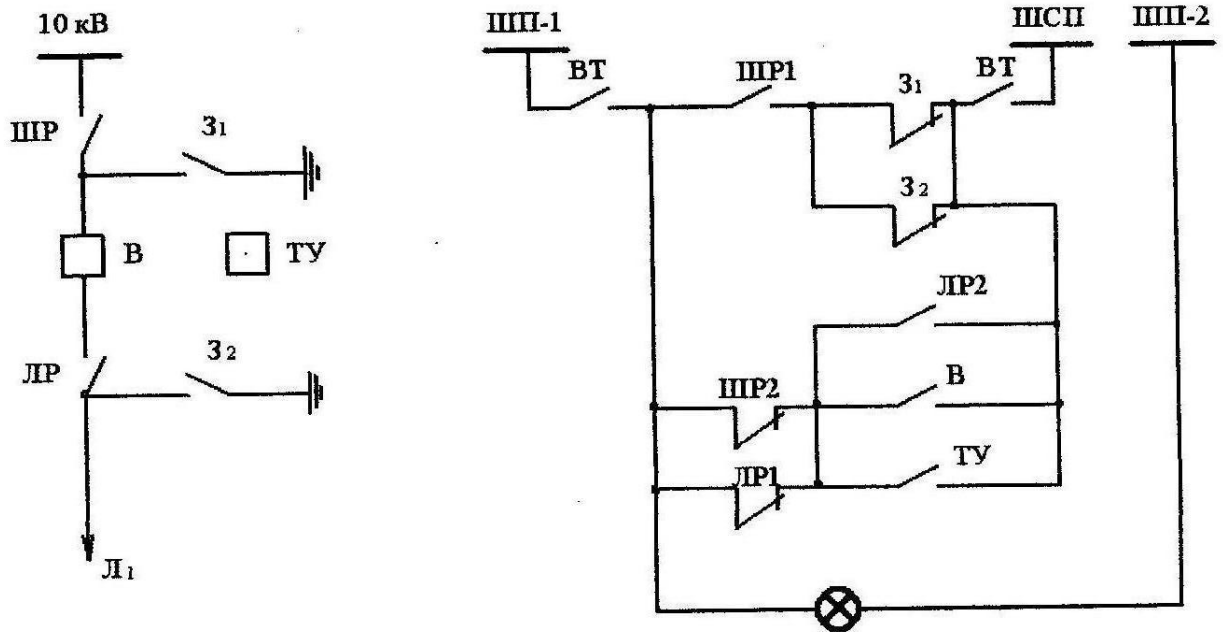


Рис. 3.2.

### **3.3. Робоче завдання.**

В якості попередньої підготовки необхідно:

- 1) вивчити послідовність оперативних переключень для задач, запропонованих викладачем;
- 2) вивчити, охарактеризувати роботу і область застосування:
  - а) радіальних ліній 6-10 кВ з ТП на глухих відпайках;
  - б) петлевих резервуючих ліній;
  - в) двопроменевих ліній;
  - г) ліній живлення;
- 3) порівняти різні схеми з точки зору надійності.

На лабораторному стенді виконати всі необхідні переключення і впевнитися в їхній правильності.

У звіті представляється:

- 1) схема ділянки мережі, на якій виконувались оперативні переключення;
- 2) послідовність переключень оперативним персоналом;
- 3) послідовність спрацювання засобів релейного захисту і автоматики;
- 4) характеристика і область застосування однієї з схем розподільчих мереж або мереж живлення 6-10 кВ за завданням викладача;
- 5) висновки по роботі.

### **3.4. Програма і методичні вказівки для виконання робочого завдання**

На мнемо щитку згідно з підготовленим домашнім завданням виконати всі необхідні оперативні переключення. Правильність виконаних операцій підтверджується загоранням сигнальних ламп.

Перелік задач, що виконуються на мнемо щитку.

1. Увімкнути лінію, що відходить.
2. Вимкнути високовольтний вимикач.

3. Виконати переключення по перенесенню точки розрізу при короткому замиканні на одній з ділянок розподільчої мережі (місце к.з. вказується викладачем).
4. Виконати переключення при аварії на шинах трансформатора 10/0,4 кВ.
5. Виконати необхідні переключення для відновлення живлення споживачів при внутрішньому пошкодженні трансформатора на підстанції 110/10 кВ.
6. Виконати необхідні переключення для виведення трансформатора на п/ст 110/10 кВ в ремонт.
7. Увімкнути трансформатор на п/ст 110/10 кВ в роботу.
8. Вивести розподільчу лінію в ремонт.

### **3.5. Контрольні запитання.**

1. Чим повинен керуватися оперативний персонал при виникненні аварійного положення на електростанції і підстанції?
2. які операції можна виконувати масляними вимикачами, вимикачами навантаження і роз'єднувачами?
3. В якій послідовності виконують відключення силового трансформатора при приєднанні його до мережі масляними вимикачами?
4. Як оперативна бригада визначає пошкоджену ділянку мережі і включає ділянку мережі, що не має пошкоджень після автоматичного відключення в РП вимикачами лінії ;
5. Які причини викликають автоматичне відключення в РП вимикача лінії живлення і які при цьому дії оперативної бригади?
6. Що таке складні і прості оперативні переключення?
7. Для чого служить бланк переключень?

### **3.6. Література.**

8. Умов П.А. Обслуживание городских электрических сетей. М.: Высшая школа, 1974.

9. Лезнов С.И., Тайц А.А. Обслуживание электрооборудования электрических станций и подстанций. М.: Высшая школа, 1972.
10. Филатов А.А. Переключения в электрических распределительных устройствах. М.: Энергия, 1973.

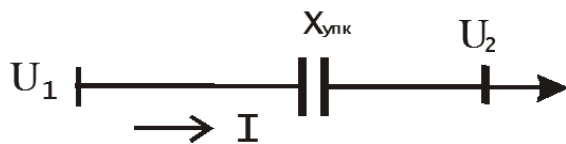
## **Лабораторна робота № 4. Дослідження впливу установок повздовжньої ємнісної компенсації на режим напруги в електричних мережах**

Мета роботи – вивчення установок повздовжньої ємнісної компенсації і дослідження їхнього впливу на режим напруги в розподільчих електричних мережах.

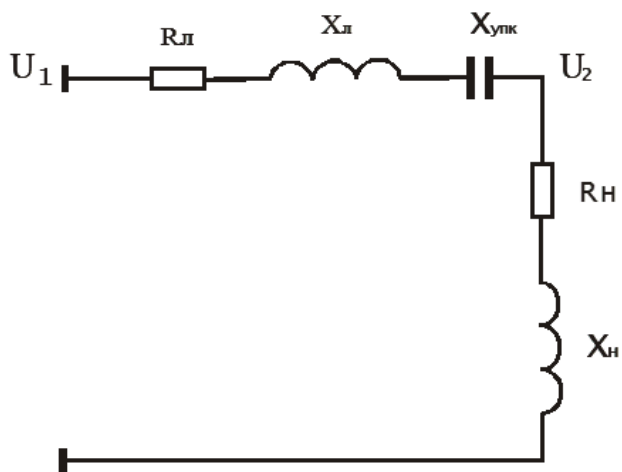
### **4.1. Основні теоретичні положення.**

Установки повздовжньої ємнісної компенсації (УПК) вмикаються в розріз лінії електропередачі і дозволяють частково або повністю вилучити вплив індуктивного опору мережі (лінії електропередачі і трансформаторів) на величину втрат напруги.

Для оцінки ефекту, який створюється УПК розглянемо лінію електропередачі, зображену на рис. 4.1.а, а також її схему заміщення, зображену на рис. 4.1.б.



а)



б)

Рис. 4.1.

Для цієї схеми побудуємо векторну діаграму струмів і напруг до і після установки УПК. Векторна діаграма представлена на рис. 4.2.

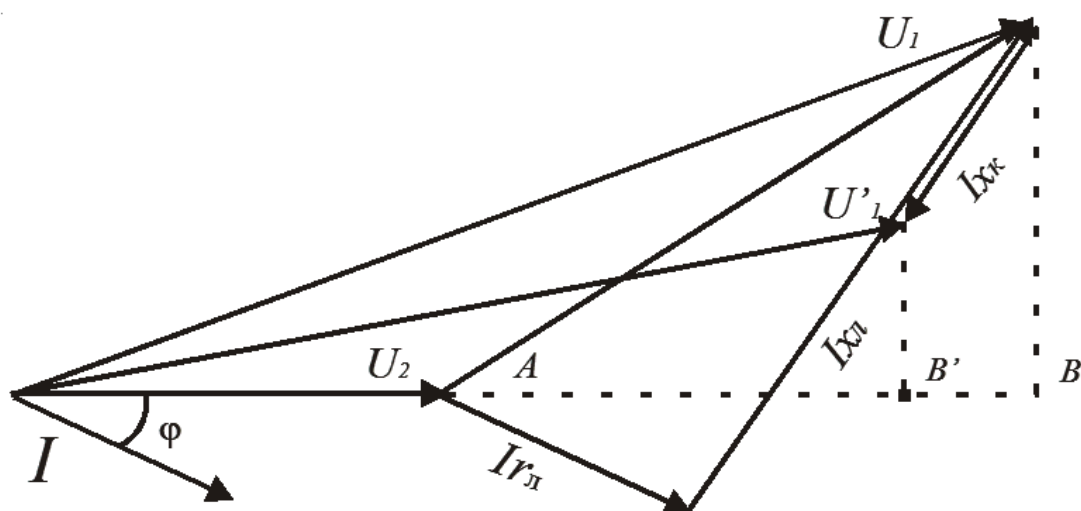


Рис. 4.2.

Втраті напруги в лінії без УПК відповідає відрізок  $ab$  ( $\Delta U$ ), втраті напруги в лінії при установці УПК – відрізок  $ab'$  ( $\Delta U'$ ). З діаграми видно, що  $\Delta U > \Delta U'$ .

Добавка напруги, яка створюється послідовно увімкненими конденсаторами, пропорційна струму навантаження і автоматично змінюється при його змінах.

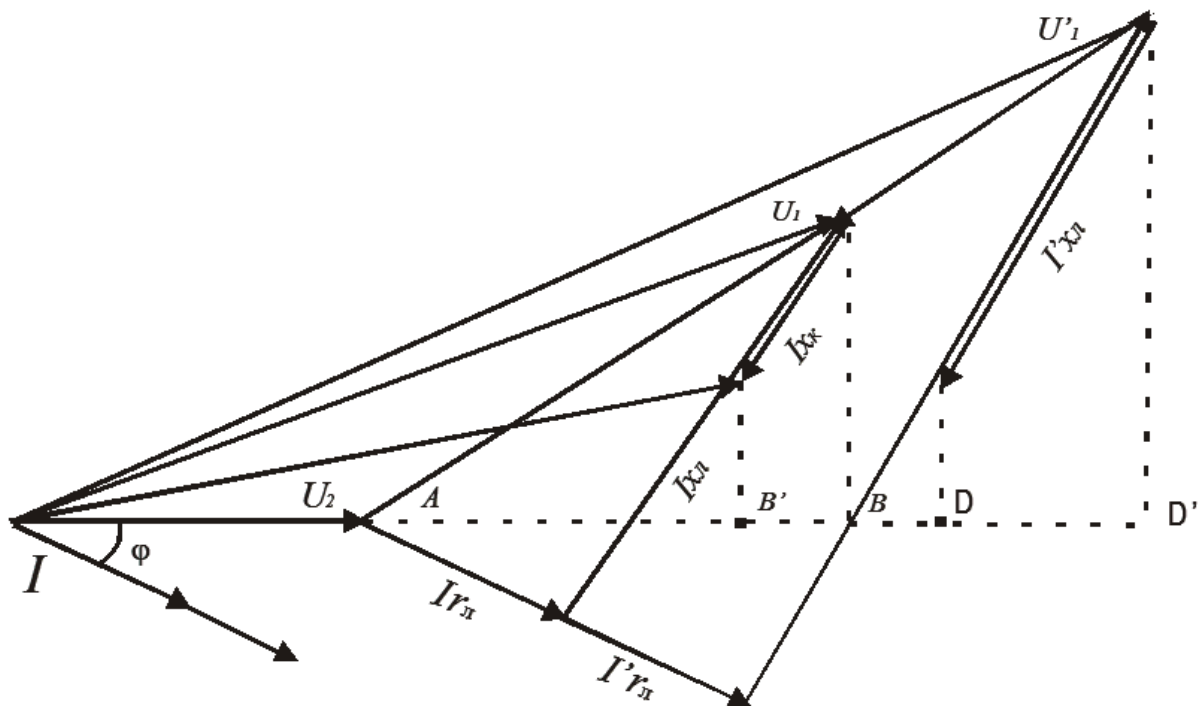


Рис. 4.3.

Векторна діаграма, що зображена на рис. 4.3, показує, що добавка напруги, яка створюється послідовно увімкненими конденсаторами, при збільшенні струму в два рази, також автоматично збільшується в два рази. Збільшення добавки напруги відбувається безінерційно. УПК ефективна для ліквідації коливань в мережах з різкозмінним навантаженням.

Напруга, що виникає на затисках УПК, знаходиться наступним чином:

$$U_{\kappa} = I \cdot X_{\kappa} \cdot 10^{-3}, \text{ кВ} \quad (4.1)$$

Потужність УПК на фазу може бути знайдена з виразу:



$$Q_{\kappa} = U_{\kappa} \cdot I = I^2 \cdot X_{\kappa} \cdot 10^{-3}, \text{ квар} \quad (4.2)$$

Добавка напруги, що створюється УПК, дорівнює:

$$E_{ПК} = \frac{I_p \cdot X_{\kappa}}{10 \cdot U_n}, \% \quad (4.3)$$

де  $I_p$  – реактивна складова струму навантаження, А.

Враховуючи, що  $X_{\kappa}$  може бути виражене через реактивний опір мережі ( $X = X_{\text{л}} + X_{\text{тр}}$ ) і ступінь компенсації ( $C$ ) наступним чином:

$X_{\kappa} = C \cdot X$ , із виразу (1) отримаємо:

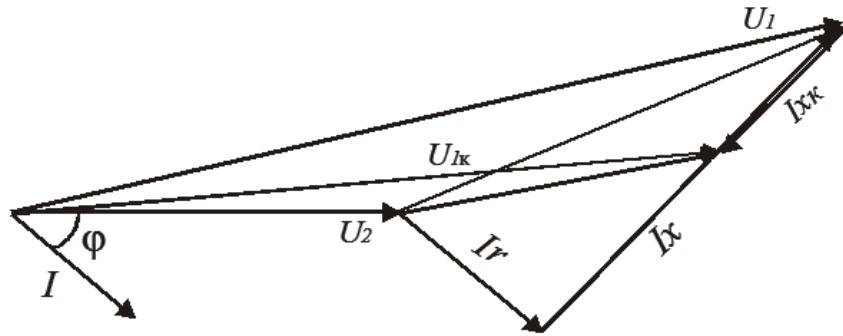
$$E_{ПК} = \frac{I_p \cdot C \cdot X}{10 \cdot U_n} = \frac{C \cdot X \cdot P \cdot \text{tg}\varphi}{10 \cdot U_n^2}, \quad (4.4)$$

де  $P$  – реактивна потужність навантаження, кВт;  $\text{tg}\varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності.

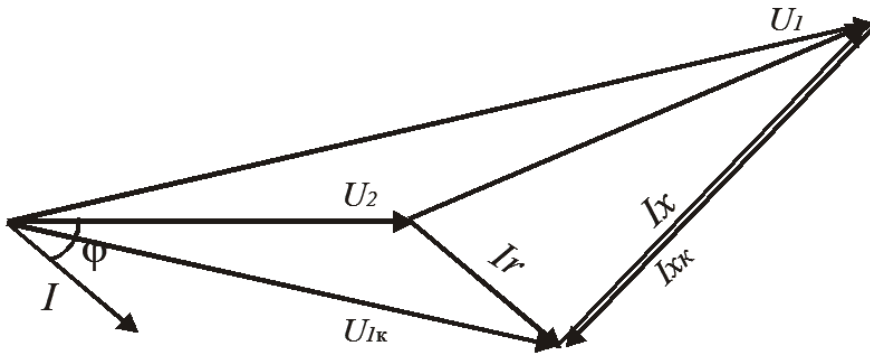
Із останнього виразу можна визначити необхідну ступінь компенсації для створення добавки напруги величиною  $E_{ПК}$ :

$$C = \frac{10 \cdot E_{ПК} \cdot U_n^2}{X \cdot P \cdot \text{tg}\varphi}. \quad (4.5)$$

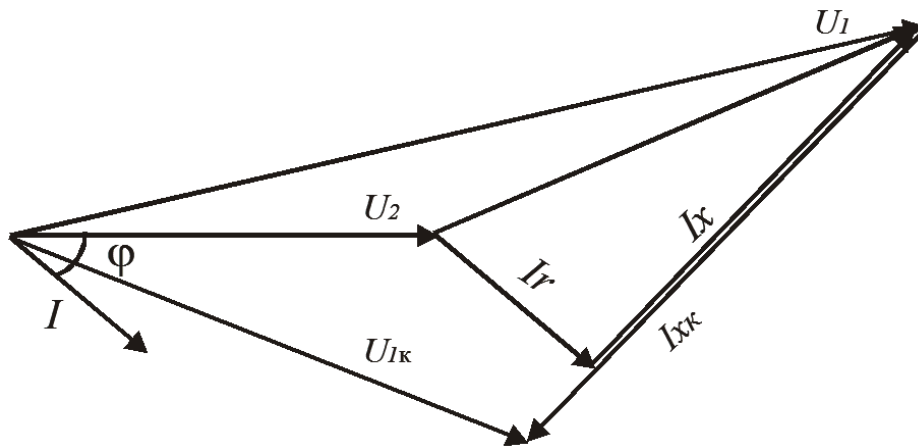
Із виразу видно суттєвий вплив ступеня компенсації, який являє собою відношення ємнісного опору конденсаторів до індуктивного опору мережі, на величину створеної добавки напруги. При цьому  $C$  може приймати наступні значення:  $C < 1$ ,  $C = 1$ ,  $C > 1$ . Відповідні векторні діаграми зображені на рис. 4.4,а; рис. 4.4,б; рис. 4.4,в.



a)



б)



в)

Рис. 4.4.

## 4.2. Опис лабораторної установки.

Для дослідження режимів мережі 10 кВ із установками повздовжньої компенсації застосовується статична модель змінного струму з частотою 50 Гц.

В якості джерела живлення застосовується автотрансформатор з номінальною напругою  $U_{\text{ном}} = 200 \text{ В}$ .

Схема заміщення ліній електричної мережі трансформаторів, навантажень моделюється послідовно ввімкненими активними і регульованими індуктивними опорами.

На рис. 4.5 і рис. 4.6 зображені схеми, що винесені на панель лабораторної роботи, а на рис. 4.7 і рис. 4.8 – їхні схеми заміщення.

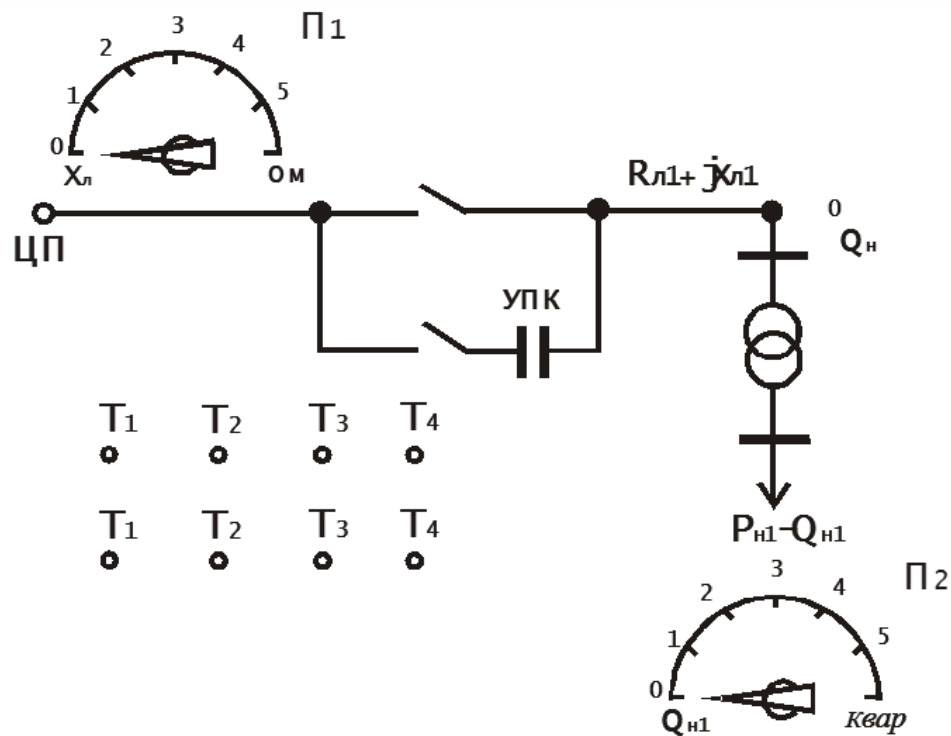


Рис. 4.5.

За допомогою перемикачів  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  і набору тумблерів можна відповідно варіювати реактивний опір лінії, реактивне навантаження і реактивний опір УПК ( $X_k$ ).

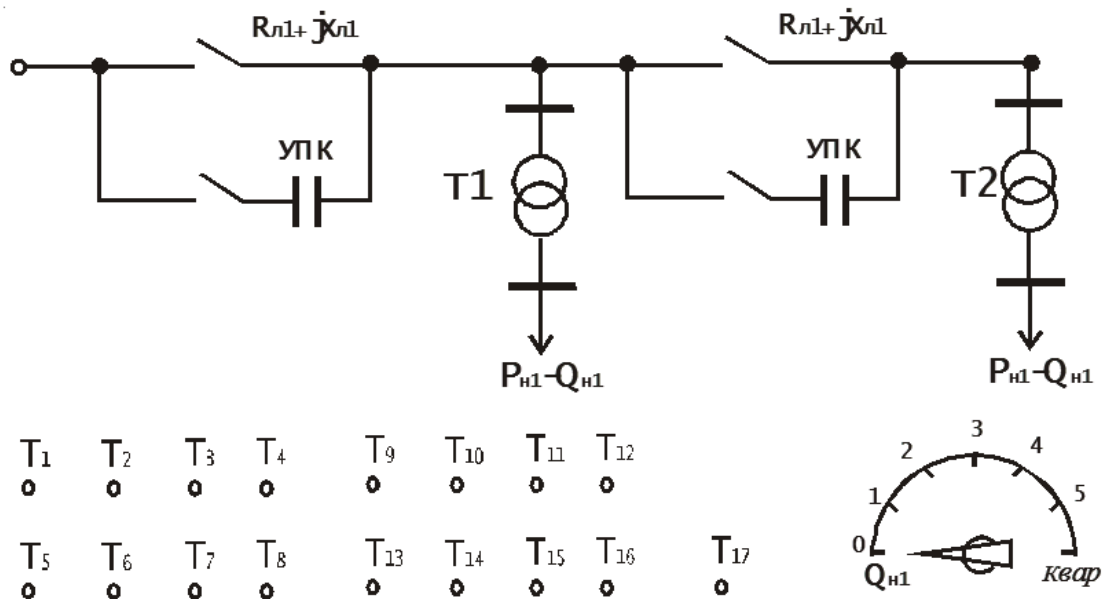


Рис. 4.6.

За допомогою перемикача  $\Pi$  і набору тумблерів у схемі, наведеної на рис. 4.6, можна варіювати відповідно реактивне навантаження і реактивний опір УПК ( $X_k$ ).

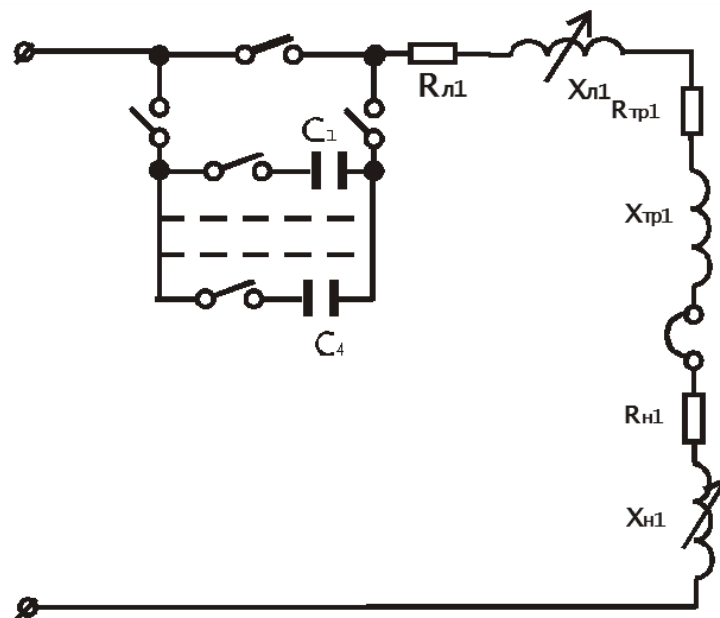


Рис. 4.7. Схема заміщення 1.

Параметри схеми заміщення 1 наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Опір	$R$ , Ом	$X$ , Ом	Параметри УПК	$C$ , мкФ	$X_k$ , Ом
$Z_1$			$X_{k1}$	35	91,0
При позитив. перемикач.			$X_{k2}$	40	79,5
			$X_{k3}$	60	53,0
1	20,8	14,0	$X_{k4}$	30	106,0
2	21,6	40,2			
3	21,8	27,4			
4	21,7	34,8			
$Z_{тр}$	13,2	41,8			

Параметри схеми заміщення 2 наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Опір	$R$ , Ом	$X$ , Ом	Навантаження	$\cos \phi$	Ємність УПК	Величина мкФ
$Z_{л1}$			$Z_{н1}$		$C_1$	15
при позитив. перемикач.			при позитив. перемикач.		$C_2$	10
					$C_3$	20
1	20,8	14,0	1	0,44	$C_4$	25
2	21,6	20,2	2	0,64	$C_5$	35
3	21,8	27,4	3	0,76	$C_6$	40
4	21,7	34,8	4	0,88	$C_7$	60
$Z_{л2}$	25,8	20,7	5	1,00	$C_8$	60
$Z_{тр1}$	13,2	41,8	$Z_{н2}$	0,74	$C_9$	20
$Z_{тр2}$	20,6	38,8			$C_{10}$	15
					$C_{11}$	20
					$C_{12}$	20
					$C_{13}$	15
					$C_{14}$	15
					$C_{15}$	35
					$C_{16}$	35
					$C_{17}$	35

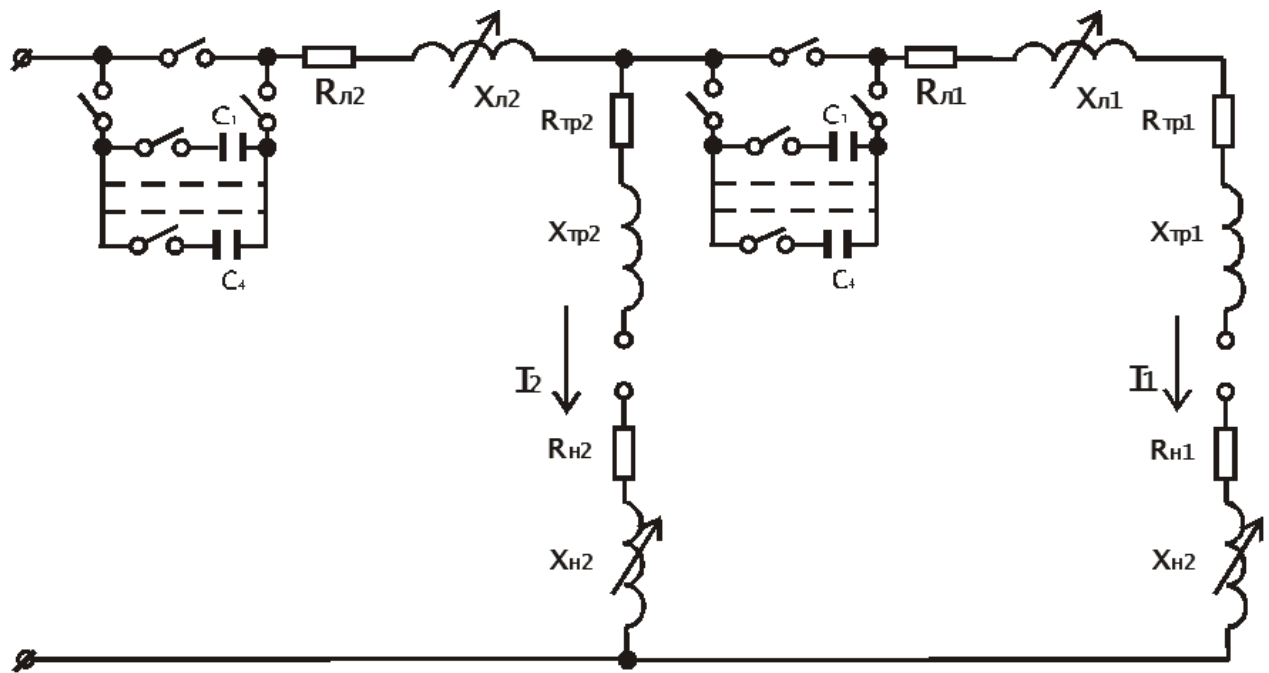


Рис. 4.8. Схема заміщення 2.

На моделі режим мережі сети відтворений у певному масштабі. При цьому струми, потужності і напруги моделі виявляються меншими, ніж відповідні параметри режиму мережі оригіналу.

Для розрахунку застосовуються масштабні коефіцієнти:

$$m_U = \frac{U_{cp}}{U_m}; m_I = \frac{I_p}{I_m}; m_S = \frac{S_p}{S_m}; m_Z = \frac{Z_p}{Z_m}. \quad (4.6)$$

Зв'язок між величинами масштабних коефіцієнтів визначається рівняннями, в які входять розглянуті параметри режиму:

$$S_p = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p, \quad (4.7)$$

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot Z_p}. \quad (4.8)$$

Дана модель виконана однофазною, тому для неї є справедливими вирази:

$$S_{мод} = U_{мод} \cdot I_{мод}, \quad (4.9)$$

$$I_{\text{mod}} = \frac{U_{\text{mod}}}{Z_{\text{mod}}} . \quad (4.10)$$

Приймемо значення  $m_U$  і  $m_Z$  рівними:

$$m_U = 0,05 \frac{\kappa B}{B} , \quad (4.11)$$

$$m_Z = 0,20 \frac{O_M}{O_M} . \quad (4.12)$$

Коефіцієнти  $m_s$  і  $m_l$  слід розраховувати як:

$$m_l = \frac{m_U}{\sqrt{3} \cdot m_Z} , \frac{\kappa A}{A} ; \quad (4.13)$$

$$m_s = \frac{m_U^2}{m_Z} , \frac{mB \cdot A}{B \cdot A} . \quad (4.14)$$

Споживання активної і реактивної потужності приймачами електричної енергії залежить від величини підведеної напруги. Графіки, що характеризують залежність потужності, що споживається, від напруги називаються статичними характеристиками і пред'явлені на рис. 4.9.

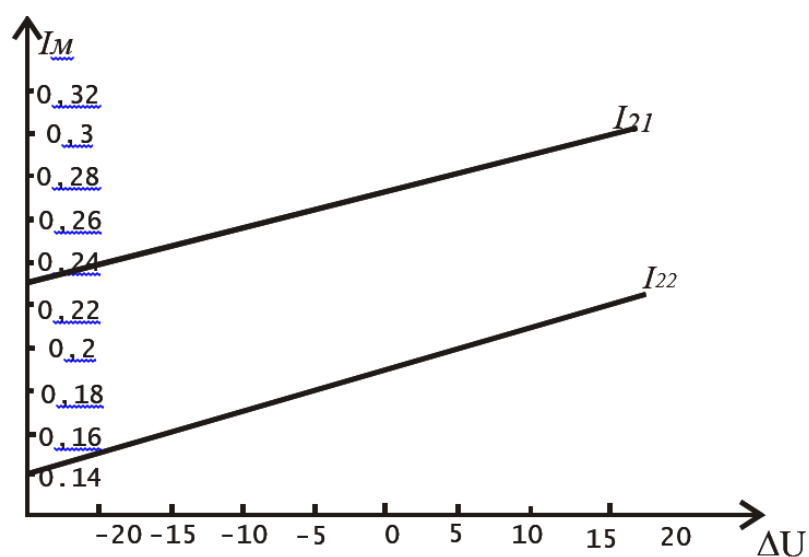


Рис. 4.9.

### 4.3. Робоче завдання.

В якості попередньої підготовки

для схеми 1:

- 1) Розрахувати і графічно представити залежність  $E_{ПК} = f(\cos \phi)$  при  $X_k = \text{const}$ ,  $I = \text{const} = 0,26$  А для заданого варіанту;
- 2) розрахувати і графічно представити залежність  $E_{ПК} = f(C)$  при  $\cos \phi = \text{const}$ ,  $I = \text{const} = 0,26$  А;

для схеми 2:

- 1) розрахувати необхідну добавку напруги і опір УПК з врахуванням статичних характеристик, щоб відхилення напруги не перевищували на ТП +5%, у віддаленого споживача -5%, при умові:

$$E_{цп} = 0, E_{ТП} = 0, U_H = 5\%, I_2 = 0,17 \text{ А}, I_1 = 0,22 \text{ А};$$

- 2) графічно визначити добавку напруги і опір УПК при  $E_{цп} = 5\%$ .

На лабораторному стенді необхідно:

- 1) Дослідити залежності

$$E_{ПК} = f(\cos \phi),$$

$$E_{ПК} = f(C);$$

- 2) За допомогою тумблерів набрати розраховані опори УПК і провести необхідні виміри.

У звіті потрібно представити:

- 1) розрахункові схеми і їхні параметри;
- 2) результати аналітичного розрахунку і графічні залежності, отримані при попередній підготовці;
- 3) результати експериментальної перевірки;
- 4) висновки по кожному пункту експерименту.

### 4.4. Програма і методичні вказівки до виконання робочого завдання.

1. Зібрати схему 1.



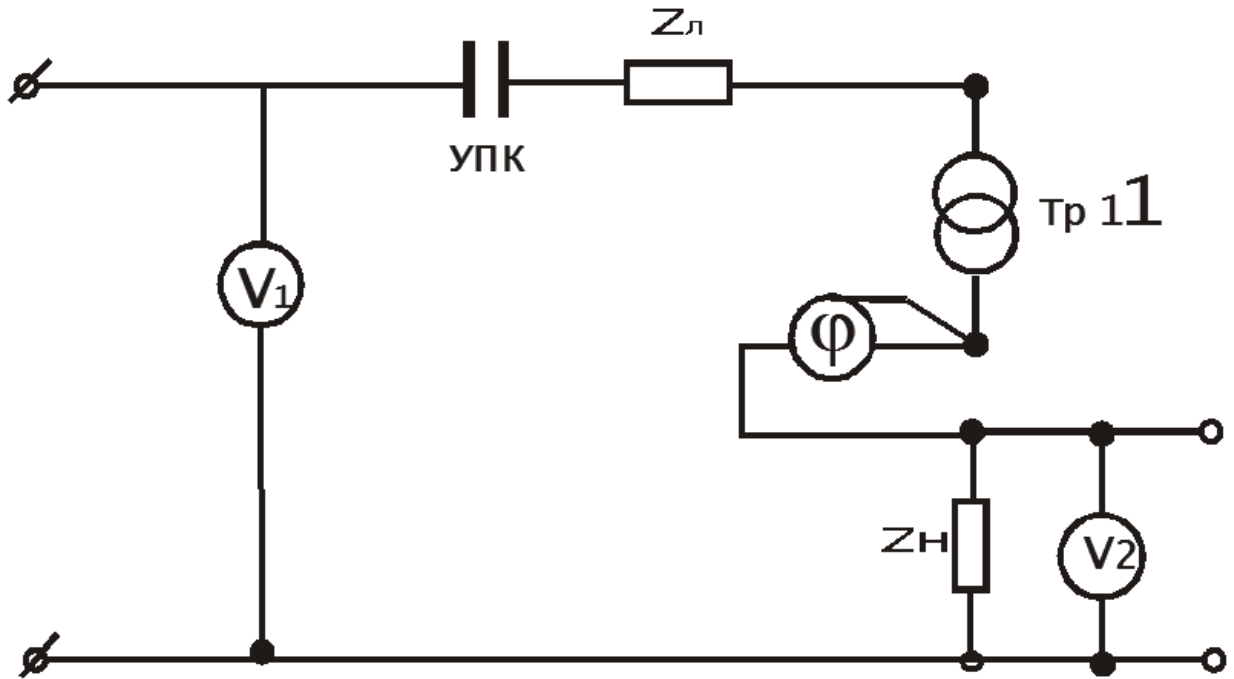


Рис. 4.10.

2. Зняти характеристику  $E_{ПК} = f(\cos\phi)$  при  $X_k = const$ ,  $X_l = const$ .  
Характеристику потрібно знімати при постійній напрузі на навантаженні  $U=200$  В. Результати занести в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Навантаження	Опір лінії	Без УПК					З УПК					$E_{ПК}$ %
		$U_1$	$U_2$	$I_n$	$\cos\phi$	$\Delta U$ %	$U_1$	$U_2$	$I_n$	$\cos\phi$	$\Delta U$ %	

3. Зняти характеристику  $E_{ПК} = f(C)$  при  $\cos\phi = const$ ,  $X_l = const$ . Результати занести в табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

Навантаження	Опір лінії	Без УПК			Опір УПК	$\cos\varphi$	$U_1$	$U_2$	$\Delta U_{\%}$	$E_{ПК}$
		$U_1$	$U_2$	$\Delta U\%$						

4. Зібрати схему 2.

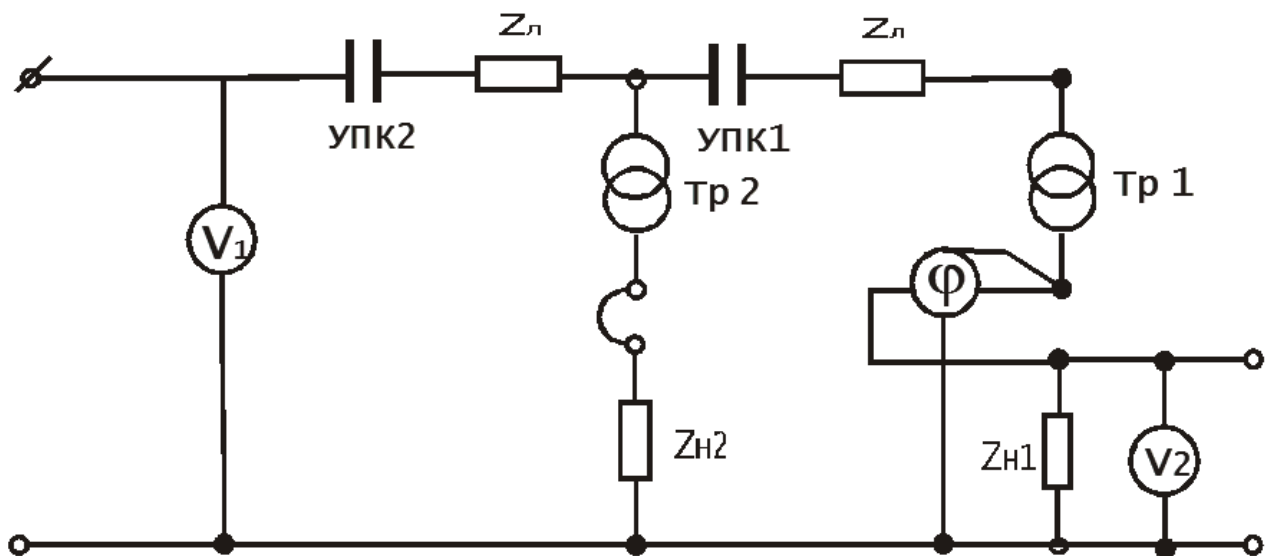


Рис. 4.11.

5. Підібрати опори УПК, отримані в результаті аналітичного розрахунку і впевнитися в правильності розрахунків.

#### 4.5. Контрольні запитання.

1. В яких мережах застосовуються пристрої повздовжньої ємнісної компенсації?
2. Принципова відмінність повздовжньої ємнісної компенсації від поперечної.
3. Від чого залежить регулюючий ефект УПК?
4. Переваги і недоліки УПК.

5. У якому випадку компенсація є повною?
6. Які типи конденсаторів випускаються промисловістю для УПК?

#### **4.6. Література.**

11. Веников В.А. Электрические системы. Т.2. М.: Высшая школа, 1972.
12. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. М.: Высшая школа, 1975.
13. Конспект лекцій.

## Лабораторна робота № 5. Дослідження впливу параметрів мережі на режим напруги при установці компенсуючих пристроїв

Мета роботи – вивчення установок поперечної компенсації як елемента електричної мережі і дослідження впливу параметрів мережі на режим напруги при установці конденсаторних батарей  $E_{KB} = f(x, Q_{KB}); Q_{KB} = f(U)$ .

### 5.1. Основні теоретичні положення

Установки конденсаторних батарей (КБ) отримали досить широке розповсюдження в системах електропостачання.

Установки КБ поперечного ввімкнення в розподільчих електричних мережах, змінюючи перетікання реактивної потужності, дозволяють зменшити втрати потужності і електричної енергії, підвищити пропускну здатність мереж, а також здійснюють значний вплив на зміну режиму напруги.

Найбільш економічним способом регулювання напруги в розподільчих мережах є зустрічне регулювання напруги на шинах 6-10 кВ центра живлення. Для порівняно простих мереж з однорідними навантаженнями, як правило, цього досить. В протяжних мережах з різномірними навантаженнями не завжди вдається забезпечити потрібну якість напруги тільки за рахунок установки конденсаторних батарей поперечного ввімкнення. При цьому можуть застосовуватися як нерегульовані, так і регульовані батареї.

При підключенні до мережі конденсаторної батареї добавка напруги  $E_{KB}$ , що виражена у відсотках, може бути визначена з наступного виразу:

$$E_{KB} = \frac{Q_{\kappa} \cdot X_{\Sigma}}{10 \cdot U_n^2}, \% \quad (5.1)$$

де  $Q_{\kappa}$  – потужність конденсаторної батареї, квар;  $X_{\Sigma}$  – реактивний опір від джерела живлення до місця установки конденсаторної батареї, Ом;  $U_n$  – номінальна напруга мережі, кВ.

З виразу (5.1) видно, що ефективність конденсаторної батареї залежить від величини реактивного опору між джерелом живлення і місцем установки конденсаторної батареї, тобто при одній і тій ж потужності батареї можна отримати велику добавку напруги при ввімкненні її в найбільш віддаленій точці мережі.

Також змінювати добавку напруги можна, змінюючи потужність конденсаторних батарей. Таким чином,

$$E_{KB} = f(Q_{\kappa}, X_{\Sigma}). \quad (5.2)$$

Реактивна потужність, що генерується КБ, визначається з виразу:

$$Q_{\kappa} = \omega \cdot C \cdot U_n \cdot 10^{-3}, \text{ квар.} \quad (5.3)$$

З цього виразу видно, що  $Q_{\kappa} = f(U)$ .

Питома потужність КБ, що необхідна для підвищення напруги на 1%, визначається як:

$$Q_{\kappa yd} = \frac{Q_{\kappa}}{E_{KB}} = \frac{10 \cdot U_n^2}{X_{\Sigma}}, \text{ вар/\%} \quad (5.4)$$

де  $X_{\Sigma} = X_{\Sigma 10}$  – при установці КБ в мережі 10 кВ, Ом;  $X_{\Sigma} = X_{\Sigma 0,38}$  – при установці КБ в мережі 0,38 кВ, Ом;  $U_n$  – номінальна напруга, кВ;  $C$  – ємність КБ, мкФ.

На рис. 5.1,а наведена схема, а на рис. 5.1,б схема заміщення мережі при установці конденсаторних батарей.

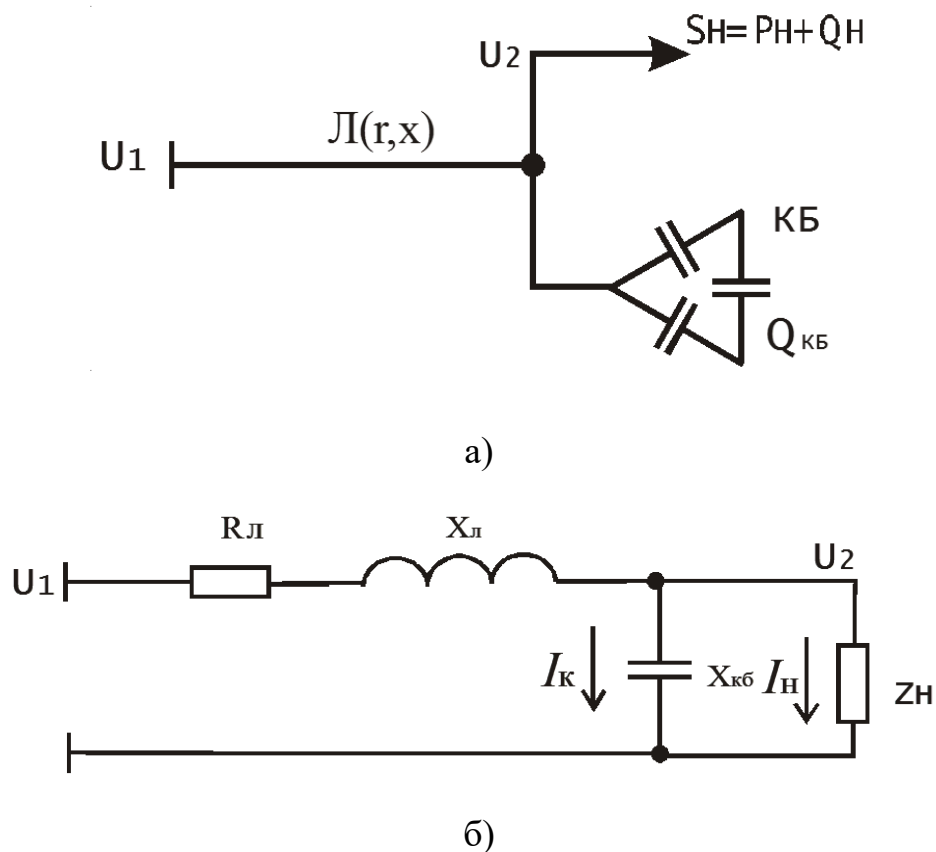


Рис. 5.1.

На рис. 5.2 показана векторна діаграма струмів і напруг до и після підключення КБ. Відрізок  $ab$  відповідає втраті напруги до установки КБ ( $\Delta U$ ), відрізок  $ab'$  – після установки КБ ( $\Delta U'$ ). З діаграми видно, що  $\Delta U > \Delta U'$ .

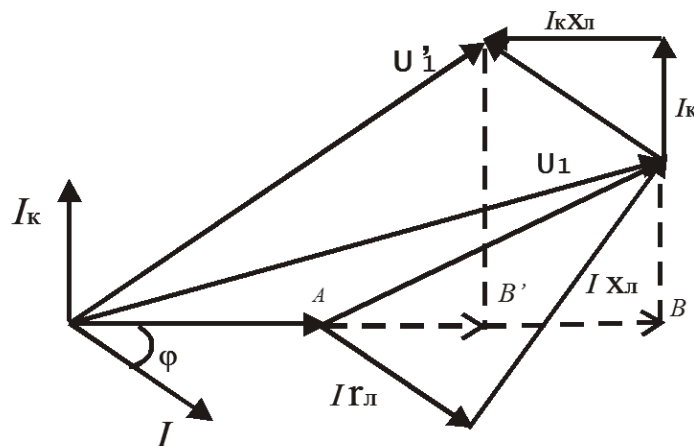


Рис. 5.2.

В режимах малих навантажень різко зменшуються розміри трикутника падіння напруги, що відповідає потужності навантаження, а розміри

трикутника падіння напруги, що відповідає потужності КБ, залишаються незмінними. В цих режимах  $U_2$  в кінці лінії може перевищувати  $U_1$  на її початку, що в ряді випадків є недопустимим. Тому, з метою регулювання напруги, необхідно автоматично змінювати потужності конденсаторних батарей.

## 5.2. Опис лабораторної установки

Для дослідження режимів мережі 10 кВ з установками поперечної компенсації застосовується статична модель змінного струму 50 Гц.

Живлення моделі здійснюється від автотрансформатора  $U = 100$  В. Лінії електропередачі моделюються послідовно ввімкненими активними і регулюючими індуктивними опорами.

Мережний трансформатор моделюється послідовно ввімкненими активним і індуктивним опорами.

Навантаження моделюється паралельно ввімкненими активним і регулюючим реактивним опорами.

На рис. 5.3 представлена панель лабораторної роботи, а на рис. 5.4 – схема заміщення.

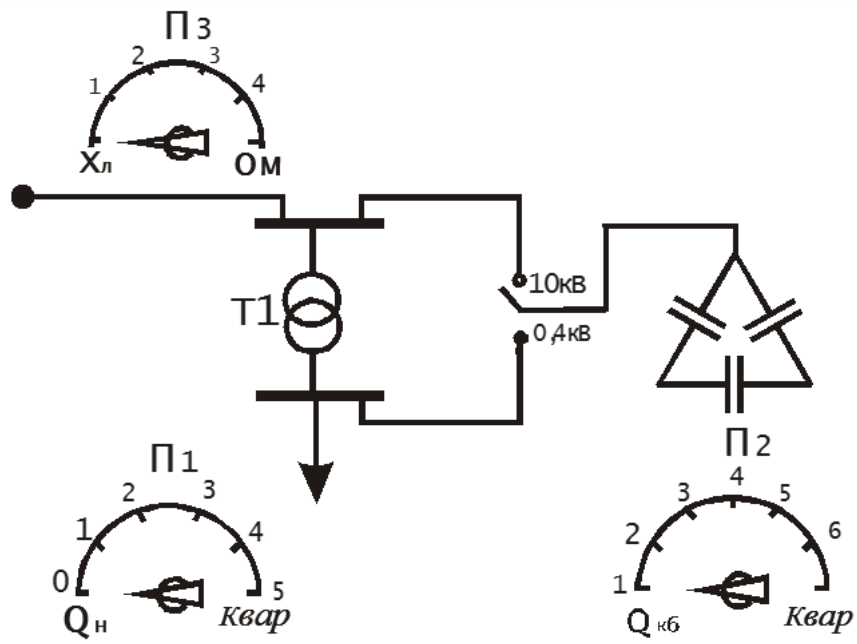


Рис. 5.3.

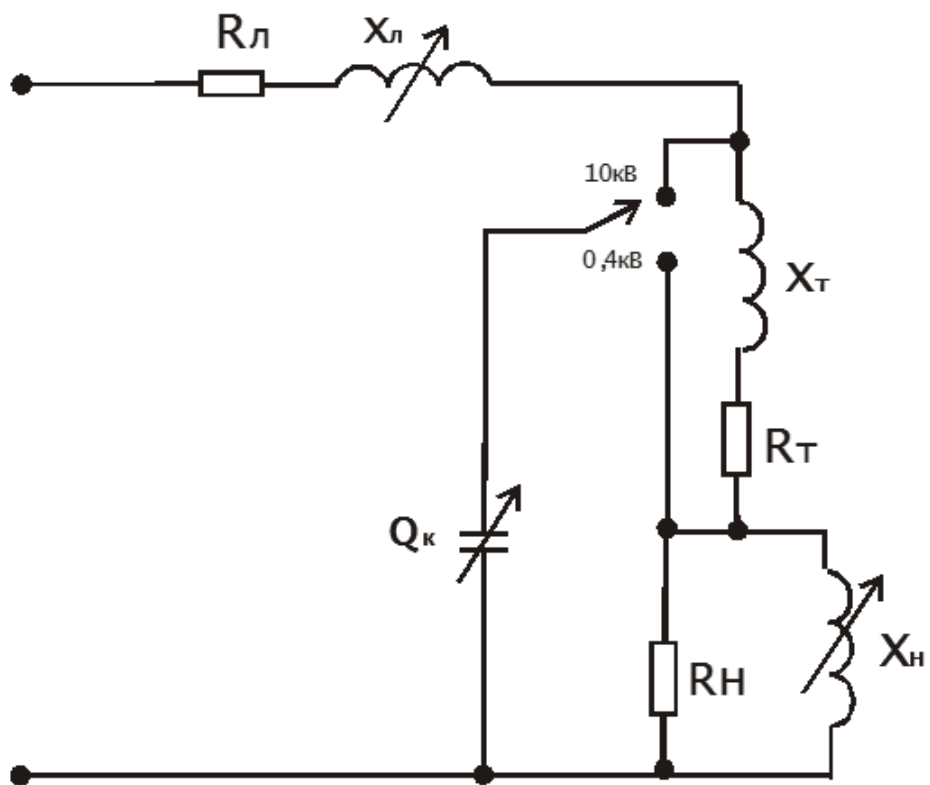


Рис. 5.4.



Регулювання потужності навантаження, потужності КБ, а також реактивного опору лінії здійснюється відповідно за допомогою перемикачів  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$ .

Параметри схеми заміщення наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Положення перемикача $\Pi_3$	Реактивний опір лінії, Ом	Положення перемикача $\Pi_2$	Потужність КБ, квар
1	2,34	1	0
2	7,77	2	210
3	19,12	3	330
4	37,77	4	400
		5	550
		6	770

### 5.3. Робоче завдання

В якості попередньої підготовки необхідно дослідити і графічно представити:

- 1) залежності реактивного опору від реальної довжини повітряних і кабельних ліній напругою 0,38 , 6, 10 кВ різного перерізу;
- 2) представити векторну діаграму для максимального і мінімального режиму при  $\beta = 0,25$ ;
- 3) залежність реактивного опору від потужності трансформатора.

На лабораторному стенді необхідно дослідити наступні залежності:

1.  $E_{KB} = f(X)$ , при  $Q_{KB} = const$
2.  $E_{KB} = f(Q_{KB})$ , при  $X_{л} = const$
3.  $Q_{KB} = f(U)$ , при  $U = var$ .

На основі проведеного експерименту і домашнього завдання оцінити, в яких мережах застосування установок поперечної компенсації найбільш ефективно.

У звіті представляється:

- 1) схема експериментальної установки і її параметри;
- 2) результати попередніх досліджень;
- 3) графіки, отримані в результаті експерименту;
- 4) висновки по кожному пункту експерименту.

#### 5.4. Програма і методичні вказівки до виконання робочого завдання

- 1) Зібрати схему

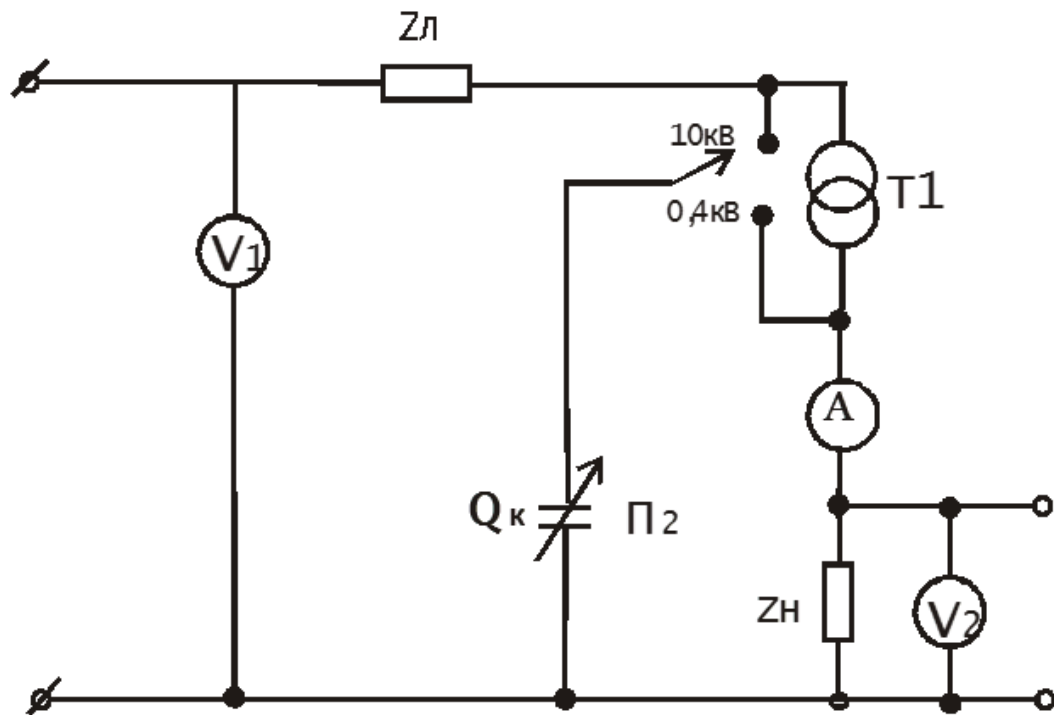


Рис. 5.5.

- 2) Згідно заданого варіанту встановити опір лінії і навантаження. Зняти характеристику  $E_{KB} = f(Q_{KB})$ ,  $X_{л} = const$ ,  $Q_{н} = const$  при підключенні конденсаторної батареї до шин 10 і 0,4 кВ за допомогою тумблера  $T_{п}$ . Характеристику знімати при постійній напрузі на навантаженні 100 В для вилучення впливу на регулювання напруги статичних характеристик. Результати занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

$Q_n$	$X_l$	$Q_{KB}$	шини 10 кВ	шини 0,4 кВ
			$E_{KB}$	$E_{KB}$

- 3) Згідно заданого варіанту встановити опір лінії і навантаження  $Q_n$  і потужність конденсаторної батареї  $Q_k$ . Зняти характеристику  $E_{KB} = f(X_l)$  при  $Q_n = const$  і  $Q_k = const$ . Напругу на навантаженні підтримувати постійною і рівною 100 В. Результати занести в табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

$Q_n$	$X_l$	$Q_{KB}$	шини 10 кВ	шини 0,4 кВ
			$E_{KB}$	$E_{KB}$

- 4) Згідно заданого варіанту встановити  $Q_n = 0$ ,  $X_l = const$ . Зняти характеристику  $Q_{KB} = f(U)$  при значенні  $U_n = 90, 95, 100, 105, 110$  В. Результати занести в табл. 5.4.

Таблиця 5.4.

$X_l$	$U_n$	$I$	$Q_{KB}$

### 5.5. Контрольні запитання.

1. Вплив КБ на показники режиму електричної мережі.
2. В яких мережах установка КБ найбільш ефективна?
3. Чим визначається місце установки КБ на високій і низькій стороні напруги трансформатора?
4. Область застосування регульованих і нерегульованих КБ.
5. Які параметри впливають на величину надбавки, яка створюється КБ?
6. Для яких цілей застосовують схеми форсування потужності КБ?
7. Переваги і недоліки КБ. Порівняти їх з іншими видами компенсуючи пристроїв.
8. Область застосування КБ поперечного ввімкнення в системах електропостачання.

### 5.6. Література.

14. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в электрических сетях. М.: Энергия, 1968, – 159 с.
15. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. М.: Энергия, 1975, – 184 с.

## **Лабораторна робота № 6. Дослідження аварійних режимів електричних мереж**

Мета роботи – ознайомлення із засобами компенсації ємнісних струмів і оцінка правильності налаштування дугогасних реакторів. Перевірка на термічну стійкість кабелів

### **6.1. Основні теоретичні положення.**

Мережі доводиться обирати не тільки з умов нормального режиму, а виходячи з її стійкої роботи при коротких замиканнях.

Площу перерізу провідників вибирають по нормованій економічній щільності струму і перевіряють на відповідність іншим умовам (допустиме тривале струмове навантаження по нагріванню, втрати та відхилення напруги, механічна міцність, термічна стійкість при струмах КЗ, корона на лініях).

Для запобігання пожеж і підтримання надійності електроустановок на прийнятному рівні необхідно, при виборі силових кабелів, враховувати максимально можливі термічні дії струмів КЗ, а в процесі експлуатації, після кожного КЗ, необхідно виконувати розрахунок температури струмопровідних жил і замінювати кабелі з розрахунковими значеннями температури, перевищуючим межу термічної стійкості.

Дугогасний реактор – електричний апарат, призначений для компенсації ємнісних струмів в електричних мережах з ізольованою нейтраллю, що виникають при однофазних замиканнях на землю. Застосовуються для заземлення нейтралі трифазних мереж 6 – 110 кВ. Через розподілену по лінії електропередачі або кабелю ємності, при однофазному замиканні на землю в місці пошкодження ізоляції виникає ємнісний струм. Якщо він перевищує 20-30 А, виникає електрична дуга, горіння якої руйнує ізоляцію і провідник кабелю, що може призводити до переходу Однофазного замикання на землю в дво- або трифазне замикання.

Значення повного струму в місці замикання на землю рівне потроєному нормальному ємнісному струму фази і визначається з виразу:

$$\dot{I}_z = 3 \cdot \dot{I}_{c,o} = 3j\dot{U}_\phi / X_{o\text{рез.с}} = 3j\omega C\dot{U}_\phi \quad (6.1)$$

де  $U_\phi$  – середнє значення фазної напруги ступені, на якій відбулося замикання на землю;  $X_{o\text{рез.с}}$  – сумарний ємнісний опір нульової послідовності елементів мережі (ПЛ і КЛ), електрично пов'язаних з точкою замикання.

Стан нейтралі мережі – режим її заземлення – має пряме відношення до проблеми аварійності та надійності забезпечення споживачів електроенергією. При глухому заземленні нейтралі кожне замикання на землю є коротким замиканням і повинно швидко відключатися релейним захистом. У період безструмної паузи дуга згасає, і дією АПВ (автоматичного повторного включення) лінія повинна бути знову введена в роботу. Оскільки лінії напругою до 50 кВ мають порівняно слабку ізоляцію, то часті замикання на землю при глухому заземленні нейтралі приводили б до обтяжливих для експлуатації відключень.

Навпаки, при неефективному заземленні нейтралі замикання фази на землю не викликає труднощів в живленні споживачів і не вимагає негайного відключення лінії. Тому мережі 3-35 кВ працюють без ефективного заземлення нейтралі. У місці замикання протікає ємнісний струм мережі. У мережах невеликої протяжності, особливо в повітряних, ємнісний струм малий, і має місце самогасіння дуги.

Виходячи з досвіду експлуатації, а також досліджень небезпеки впливу дуг, що виникають при замиканні на землю, і перенапруги, граничними для мереж з незаземленими нейтралями слід вважати струми 20 А при 6 кВ, 15 А при 10 кВ та 5 А в блокових схемах генератор – трансформатор (на генераторній напрузі) і мережах 3-35 кВ з підвищеними вимогами до електробезпеки (торфорозробки, шахти і т. п.).

У попередньому виданні ПТЕ допускалося налаштування з перекомпенсацією, при якому реактивна складова струму замикання повинна бути не більше 5 А, а в разі великої різниці струмів суміжних відгалужень реактивна складова струму замикання на землю допускалася не більше 10 А.

Обмеження струму  $I_3$  досягається включенням між нейтраллю трансформатора і землею реактора, яка називається дугогасна, з індуктивністю  $L$ , налаштованої в резонанс з ємністю мережі.

Струм реактора, при нехтуванні малим активним її опором, визначається виразом:

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_0}{jX_L} = -j \frac{\dot{U}_0}{\omega L} \quad (6.2)$$

Результуючий струм в точці замикання фази на землю при ввімкненій ДГР, дорівнює геометричній сумі струмів, тобто  $I_3$  та  $I_L$

$$\dot{I}_p = \dot{I}_3 + \dot{I}_L = j\dot{U}_0 \left( 3\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \quad (6.3)$$

При експлуатації електричних мереж обслуговуючому персоналу важливо знати практичні (розрахункові) значення струмів однофазного замикання на землю, а також можливість компенсації цих струмів за допомогою встановлених дугогасних реакторів. З цією метою були розроблені програми, що дозволяють отримати розрахункові значення сумарних ємнісних струмів замикання на землю на шинах підстанції, а також оцінити величину компенсації цих струмів за допомогою дугогасних реакторів і правильність їх налаштування.

Для розрахунку струмів КЗ прийнята спрощена методика – розрахунок за формулами (без використання розрахункових кривих і еквівалентування ІП).

Енергосистема прийнята як джерело нескінченно великої потужності з шинами незмінної напруги ( $U_c = U_{cp} = \text{const}$ ), участь якого в живленні місця КЗ,

обмежене тільки опорами тих елементів (лінії, трансформатори, реактори), через які точка КЗ. пов'язана з енергосистемою. Опір енергосистеми або задається в явному вигляді, або знаходиться за заданим початкового значення періодичної складової струму КЗ на шинах 6-10 кВ ІП ( $I_{n, o}$ ) або потужності КЗ на шинах ІП ( $S_{к.з.}$ ), які задаються енергосистемою, за формулою:

$$x_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} I_{n,o}} = \frac{U_{cp}^2}{S_{кз}} [\text{Ом}] \quad (6.4)$$

де  $U_{cp}$  – середня напруга тієї ступені, для якої відомий струм або потужність КЗ (Зазвичай шини 6-10 кВ підстанції).

Розрахунок проводиться в іменованих одиницях. При розрахунку в іменованих одиницях всі опори схеми повинні бути виражені в Омах і приведені до однієї напруги (до номінальної напруги одного електричного ступеня).

Особливістю вибору кабелів на напругу понад 1000 В є їх перевірка на термічну стійкість струмам к.з., яку здійснюють за виразом

$$F_{кл}^{\min} = \frac{I_{\Sigma}^{(3)} \sqrt{t_n}}{C}, \quad (6.5)$$

де  $I_{\Sigma}^{(3)}$  – сумарний струм к.з. від енергосистеми з врахуванням наявних в ЕПС синхронних двигунів;  $t_n$  – приведений розрахунковий час (час відмикання к.з.);  $C$  – термічний коефіцієнт.

Зокрема, для кабелів 10 кВ з алюмінієвими жилами і полівінілхлоридною або гумовою ізоляцією  $C = 75 \frac{Ac^{0.5}}{\text{мм}^2}$ , для аналогічних кабелів з поліетиленовою

ізоляцією  $C = 62 \frac{Ac^{0.5}}{\text{мм}^2}$ .



## 6.2. Інструкція по роботі з програмним забезпеченням

Комплекс призначений для вирішення широкого кола завдань розрахунку і оптимізації режимів і параметрів розподільних електричних мереж різного призначення, напругою 6-35 кВ.

Він є пакетом прикладних програм з декількома спеціалізованими базами даних (БД), написаних на алгоритмічній мові "С".

Бази даних ИВК-СЕС призначені для зберігання вихідної інформації про параметри і режими елементів електричної мережі, її конфігурації, режимах роботи джерел живлення (ДЖ) і споживачів електроенергії ЕПС (у вигляді графіків навантаження), і є основою для проведення всіх видів розрахунків здійснюваних комплексом ИВК-СЕС. Вихідною інформацією, що зберігається в БД, є:

1. Інформація про гілки мережі, що дозволяє відобразити конфігурацію електромереж різної номінальної напруги і що містить:
  - 1) характеристики початкових і кінцевих вузлів гілок (тип, номер, секція шин, вид і стан комутаційного апарату);
  - 2) марки проводів і кабелів, якими виконані гілки і їх довжини;
  - 3) марки розподільних трансформаторів і положення їх робочих відгалужень ПБЗ;
  - 4) навантаження низьковольтних шин ТП і РП;
  - 5) втрати напруги до видалених споживачів в мережі 0,38 кВ і інші характеристики.
2. Інформація про графіки навантаження і напруги на ДЖ і лініях, що відходять, а також про споживання електроенергії по ним.
3. Інформація по типових (або реальних) графіках навантаження споживачів ЕПС.
4. Довідкова (або паспортна) інформація про марки трансформаторів і їх параметри.
5. Довідкова інформація про марки проводів, кабелів і реакторів і їх параметри.

6. Довідкова (або паспортна) інформація про марки дугогасячих котушок (реакторів) і їх параметри.
7. Значення струмів трифазного КЗ (або опорів  $x_{\text{сист.}}$ ) на шинах ІІ в максимальному і мінімальному режимах роботи енергосистеми.

Для введення і коректування первинної інформації в БД розроблений спеціальний редактор, за допомогою якого здійснюється введення даних як безпосередньо з клавіатури, так і з текстових файлів, заготовлених заздалегідь. При цьому виробляється синтаксичний і семантичний контроль інформації, що вводится.

У комплексі реалізований підхід, що дозволяє за даними, занесеними в БД, представляти на екрані монітора схему електричної мережі в кольоровому зображенні, з накладенням на неї параметрів розрахункового режиму, без попередньої роботи по "рисунку" користувачем схеми мережі. Крім того, є можливість видачі вказаної схеми на принтер.

### **6.3. Робоче завдання**

Попередні розрахунки:

1. Виконати розрахунки значень ємнісних струмів.
2. Виконати розрахунки мінімально допустимого перерізу кабелів по термічній стійкості

Розрахунки виконати згідно варіантів приведених у табл. 6.1. Розрахункова схема зображена на рис. 6.2. Додаткові данні для розрахунку приведені у табл. 6.2 та табл. 6.3.

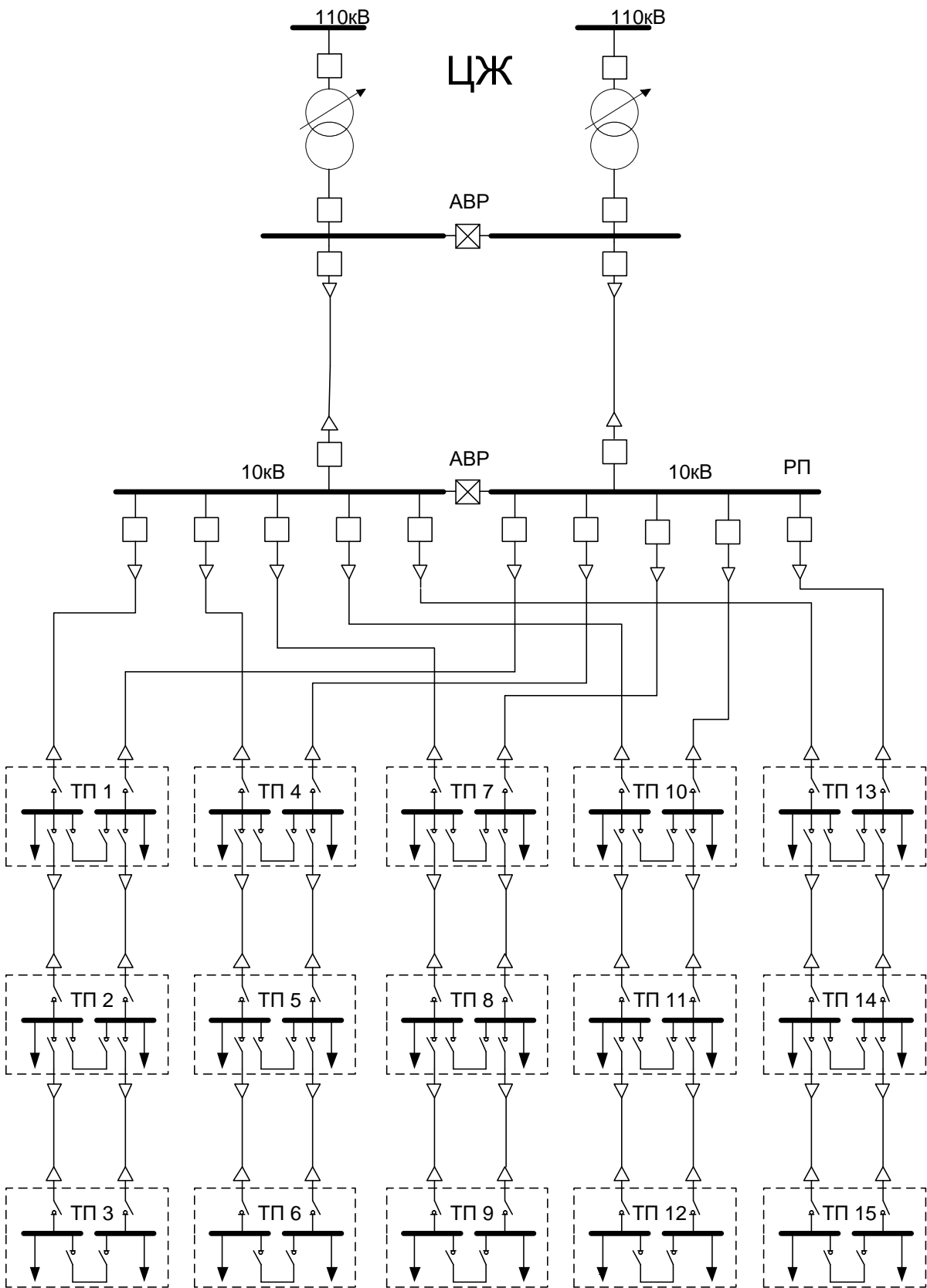


Рис. 6.1. – Розрахункова схема

Таблиця 6.1.

## Параметри ліній

Варіант	1		2		3		4		5	
Ділянка	Марка	$l$ , км	Марка	$l$ , км	Марка	$l$ , км	Марка	$l$ , км	Марка	$l$ , км
пс1-ра1	ААБ 150	1	ААБ 95	0,8	ААБ 240	1,5	ААБ 120	1,5	ААБ 150	1,8
рп1-тп1	ААБ 95	0,5	ААБ 50	0,3	ААБ 120	1,4	ААБ 95	1	ААБ 95	1,4
тп1-тп2	ААБ 95	1,5	ААБ 50	1	ААБ 95	2	ААБ 95	1,1	ААБ 95	1,4
тп2-тп3	ААБ 95	2	ААБ 50	1,5	ААБ 70	1	ААБ 70	0,7	ААБ 50	1
рп1-тп4	ААБ 95	1,2	ААБ 95	1	ААБ 185	1,8	ААБ 95	2	ААБ 70	1,1
тп4-тп5	ААБ 70	1	ААБ 50	1	ААБ 95	2	ААБ 70	1,4	ААБ 70	1,5
тп5-тп6	ААБ 70	1,5	ААБ 50	0,7	ААБ 50	0,3	ААБ 95	2	ААБ 50	0,7
рп1-тп7	ААБ 95	0,8	ААБ 120	0,5	ААБ 120	1	ААБ 50	1	ААБ 70	0,6
тп7-тп8	ААБ 70	0,5	ААБ 95	0,4	ААБ 95	1,5	ААБ 95	1,3	ААБ 50	0,2
тп8-тп9	ААБ 50	0,3	ААБ 70	0,4	ААБ 70	2	ААБ 50	0,4	ААБ 70	1,2
рп1-тп10	ААБ 70	1	ААБ 120	0,2	ААБ 185	2,5	ААБ 70	1,2	ААБ 95	1,6
тп10-тп11	ААБ 50	1,2	ААБ 70	1	ААБ 95	0,1	ААБ 70	1,2	ААБ 95	1,4
тп11-тп12	ААБ 50	1,4	ААБ 50	1,1	ААБ 50	0,3	ААБ 50	0,5	ААБ 95	1,1
рп1-тп13	ААБ 120	1,6	ААБ 70	1,5	ААБ 120	1,7	ААБ 95	1,4	ААБ 120	2
тп13-тп14	ААБ 120	0,2	ААБ 50	0,4	ААБ 95	1,3	ААБ 70	0,6	ААБ 120	2,2
тп14-тп15	ААБ 95	0,6	ААБ 50	0,5	ААБ 70	0,4	ААБ 70	1,8	ААБ 95	1

Таблиця 6.2.

## Характеристики кабелів

Марка	Ємнісний струм, А/км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км
ААБ 35	0,69	0,92	0,095
ААБ 50	0,82	0,64	0,09
ААБ 70	0,95	0,46	0,086
ААБ 95	1,11	0,34	0,083
ААБ 120	1,24	0,27	0,081
ААБ 150	1,37	0,21	0,079
ААБ 185	1,51	0,17	0,077
ААБ 240	1,68	0,132	0,075

Таблиця 6.3.

Додаткові данні для розрахунку

$U_{\text{ср}}$	10,50	кВ
$I_{\text{с}}$	10,00	кА
$t_1$	1	с
$t_2$	0,5	с
$C$	85	$\text{А} \cdot \sqrt{\text{с}} / \text{мм}^2$

Лабораторні дослідження:

1. За допомогою комплексу «ІВК СЭС» дослідити можливості компенсації ємнісних струмів у вузлах мережі
2. За допомогою комплексу «ІВК СЭС» перевірити значення токів трифазного короткого замикання у вузлах та порівняти їх з максимально допустимими значеннями для заданих перерізів.

У звіті мають бути представлені:

- 1) розрахункові схеми і їх параметри;
- 2) результати аналітичних розрахунків;
- 3) результати лабораторної перевірки;
- 4) рекомендації щодо вибору перерізів кабелів та відгалужень дугогасячих реакторів;
- 5) висновки по кожному з експериментів.

#### 6.4. Рекомендації до виконання роботи

Запускаємо ІВК-СЭС.

Задаємо марки, довжини та перерізи кабелів. Для цього:

Заходимо в меню «Данные» → «Участки» → «Вся БД» → в ячейках марка и L занести данные своего варианта → Выход, сохранить изменения

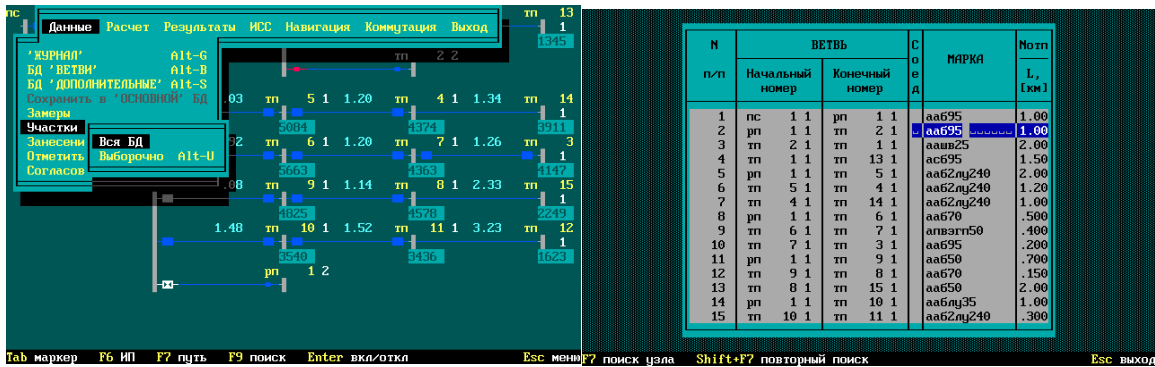


Рис. 6.2.

Зазначаємо об'єкт.

Заходимо в меню «Расчет» → «Установки» → «Объект». Обираємо ПС1.

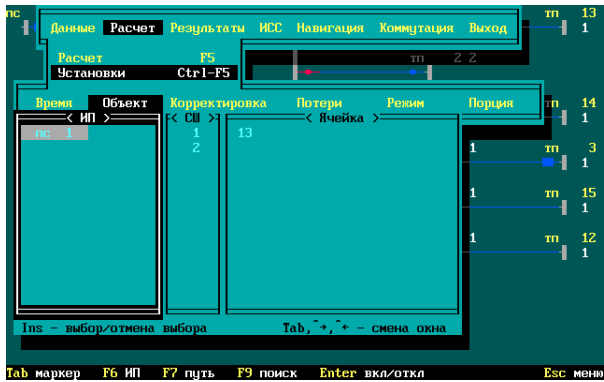


Рис. 6.3.

Проводимо розрахунок ємнісних струмів.

Заходимо в меню «Расчет» → «Расчет» → «Расчет емкостных токов» → «Для всех участков сети»

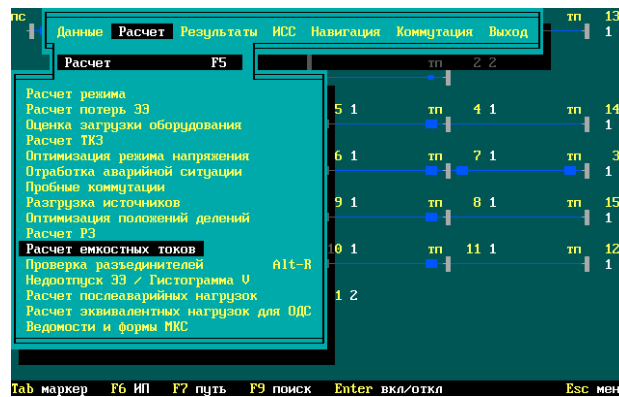


Рис. 6.4.

Запропоновані програмою відгалуження дугогасного реактора занести до протоколу.

Проводимо розрахунок струмів КЗ.

Заходимо в меню «Расчет» → «Расчет» → «Расчет ТКЗ» → «Нет» → «Во всех узлах СЭС» → «На шинах 6-20кВ узлов сети»

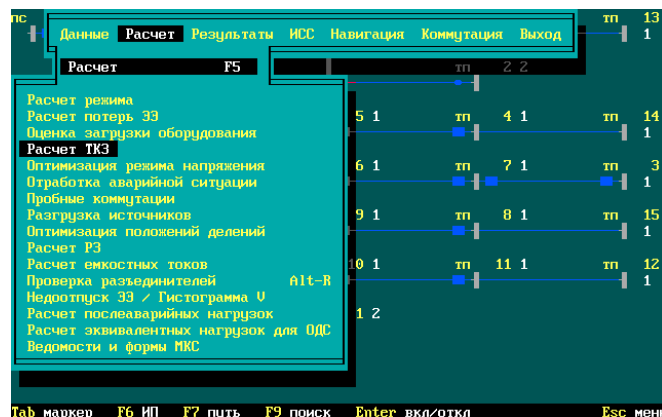


Рис. 6.5.

Розраховані програмою значення  $I_{K(3)}$  занести до протоколу, порівняти з отриманими попередньо.

## 6.5. Контрольні питання

1. Навіщо потрібне врахування аварійних режимів при виборі обладнання
2. Як розрахувати ємнісний струм?
3. В яких випадках повинна застосовуватися компенсація ємнісних струмів?

4. Де повинний підключатися дугогасний реактор.
5. Навіщо проводиться перевірка кабелів на термічну стійкість?
6. Які дії при не проходженні кабелю перевірки на терміну стійкість?
7. Принцип дії струмообмежуючого реактора.



## **Лабораторна робота № 7. Дослідження режиму напруги і вибір засобів підвищення якості електричної енергії**

Мета роботи – ознайомлення із засобами регулювання напруги для забезпечення допустимих відхилень напруги у споживачів.

### **7.1. Основні теоретичні відомості**

У розподільних мережах 6-10 кВ підтримка допустимого рівня напруги на затискачах споживачів забезпечується використанням регулюючих можливостей центрів живлення (ЦЖ) і розподільних трансформаторів (РТ). У ЦЖ можливо автоматичне регулювання напруги в заданому діапазоні за допомогою регулятора (БАР), що реагує на зміну навантаження системи. Регулювання РТ з ПБЗ здійснюється установкою відповідних відгалужень, в результаті чого змінюється коефіцієнт трансформації. Перестановці відповідних відгалужень мережових трансформаторів проводиться при знятій нарузі, в основному, один раз в сезон. У зв'язку з цим виникає завдання вибору такого поєднання відгалужень з законом регулювання ЦЖ, при якому протягом тривалого періоду було б можливим підтримка відхилень напруги у споживачів (в мережі НН) в допустимих межах.

Система електропостачання району міста повинна бути спроектована таким чином, щоб на затискачах електроприймачів у нормальному режимі забезпечувалися установлені ГОСТ 13109-97 відхилення напруги:

$$\delta U_{у. доп} = \pm 5 \%. \quad (7.1)$$

Норми ГОСТ 13109-97 повинні бути витримані з інтегральною імовірністю 0,95. Розрахунки по відхиленню напруги виконуються для режимів максимального і мінімального навантажень. При цьому допускається приймати навантаження в мінімальному режимі в межах 25-30% від максимального.

Забезпечення зазначених вище відхилень напруги на затискачах електроприймачів може бути здійснене в результаті раціонального вибору

робочих відгалужень розподільчих трансформаторів і закону регулювання напруги в центрі живлення. Закон регулювання напруги в ЦЖ вибираємо за умовами максимального (добавки напруги в ЦЖ –  $E'_{\text{п}}$ ) і мінімального (добавки напруги в ЦЖ –  $E''_{\text{п(в)}}$ ,  $E''_{\text{п(н)}}$ ) режимів. Величини  $E'_{\text{п}}$ ,  $E'_{\text{п(в)}}$ ,  $E'_{\text{п(н)}}$  визначаємо з загального виразу для розрахунку відхилення напруги в найбільш віддаленого споживача мережі низької напруги довільного ТП.

$$\delta U_y = E_{\text{п}} + E_{\text{т}} - \beta(\Delta U_{\text{с}} + \Delta U_{\text{т}} + \Delta U_{\text{н}}), \quad (7.2)$$

де  $E_{\text{п}}$  – добавка напруги в ЦЖ у розглянутому режимі, %;  $\beta$  – коефіцієнт завантаження (оскільки ми розглядаємо два режими, то приймаємо 1,0 – для максимального режиму і 0,25 – для мінімального);  $\Delta U_{\text{т}}$  – втрата напруги в ТП у максимальному режимі (приймається середня для розглянутої мережі величина), %;  $\Delta U_{\text{н}}$  – втрата напруги в мережі низької напруги в максимальному режимі, %;  $\Delta U_{\text{с}}$  – втрата напруги в мережі високої напруги 10 кВ у максимальному режимі, %.

Значення  $\Delta U_{\text{с}}$  і  $\Delta U_{\text{т}}$  розраховуємо за формулою:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{10U_{\text{н}}^2}, \quad (7.3)$$

де  $R$ ,  $X$  – відповідно активний і реактивний опір мережі, Ом;  $P$  – активне навантаження елемента мережі, кВт;  $Q$  – реактивне навантаження елемента мережі, квар;  $U_{\text{н}}$  – номінальна напруга мережі, кВ,  $U_{\text{н}}=10$  кВ.

Величина  $E'_{\text{п}}$  вибирається виходячи з того, щоб на шинах 0,4 кВ РТ, підключеного безпосередньо до шин ЦЖ, відхилення напруги не перевищувало б верхньої допустимої межі  $\delta U_{\text{в}}^{\text{Б}}$ . З огляду на те, що в цьому випадку  $\beta=1$ ,  $\Delta U_{\text{н}}=0$ .

Величина  $E''_{\text{п(в)}}$  визначається з тієї умови, щоб відхилення напруги на шинах 0,4 кВ першого РТ, що має найбільшу величину  $E_{\text{т}}$ , не перевищувало б верхнього допустимої межі  $\delta U_{\text{в}}^{\text{Б}}$ .

Оскільки в цьому випадку  $\beta = \beta_{\min} = 0,25$ ;  $\Delta U_{\text{H}} = 0\%$ , то:

$$E''_{\text{п}}(\text{В}) = \delta U_{\text{y}}^{\text{В}} - E_{\text{T}} + \beta_{\min} (\Delta U_{\text{c}} + \Delta U_{\text{T}}), \quad (7.4)$$

Величина  $E''_{\text{п}}(\text{H})$  визначається виходячи з того, щоб відхилення напруги в найбільш віддаленого споживача останнього ТП, що має мінімальну величину  $E_{\text{T}}$  не було менше нижньої припустимої межі  $\delta U_{\text{y}}^{\text{H}}$ . Оскільки в цьому випадку  $\beta = \beta_{\min} = 0,25$ ,  $E_{\text{T}} = 0$ , то

$$E''_{\text{п}}(\text{H}) = \delta U_{\text{y}}^{\text{H}} + \beta_{\min} (\Delta U_{\text{c}} + \Delta U_{\text{T}} + \Delta U_{\text{H}}). \quad (7.5)$$

Середнє значення у мінімальному режимі:

$$E''_{\text{п}} = \frac{E''_{\text{п}}(\text{В}) + E''_{\text{п}}(\text{H})}{2}; \quad (7.6)$$

$$\Delta U''_{\text{тl}} = \beta \cdot \Delta U_{\text{T}}; \quad (7.7)$$

$$\Delta U''_{\text{H}} = 0,25 \cdot \Delta U_{\text{H}}. \quad (7.8)$$

Вибір закону регулювання в ЦЖ та ступені регулювання кожного трансформатора визначається двома режимами роботи мережі при максимальних і мінімальних навантаженнях однорідних споживачів.

За результатами розрахунку максимального і мінімального режимів визначають три граничних значення надбавок напруги ЦП –  $E'_{\text{п}}, E''_{\text{п}(\text{В})}, E''_{\text{п}(\text{H})}$ , які і визначають діапазон дії регулятора ЦЖ в залежності від режиму роботи мережі (рис. 7.1).

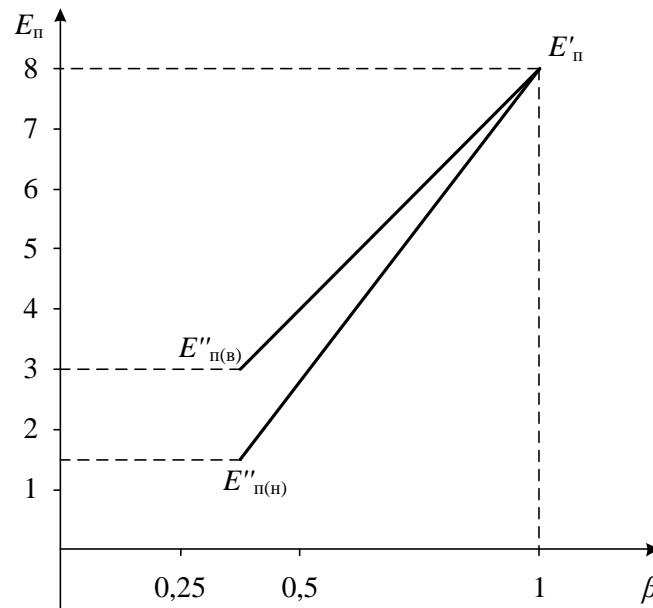


Рис. 7.1.

$E'_п, E''_{п(в)}, E''_{п(н)}$  визначаються за трьома контрольними точками.

Перша з них (ТІ) вибирається по умові максимального режиму на шинах 0,4 кВ найближчого до ЦП РТ при 0-й надбавці розподільного трансформатора. Такою точкою можна вважати шини того РТ, для якого  $\Delta U_c = 0$ .  $E_п$  вибирається таким чином, щоб при підвищенні напруги ЦП відхилення напруги в цій точці не перевищувало  $\delta U_{у доп}^B$  і визначалося за співвідношенням:

$$E'_п = \delta U_{у доп}^B - E_{т min} + \beta(\Delta U_c + \Delta U_t + \Delta U_n) \quad (7.9)$$

В даному випадку  $\Delta U_c = 0$ ,  $E_t = 0$ ;  $\Delta U_n = 0$ ,  $\beta = 1$ , тобто  $E'_п = \delta U_{у доп}^B + \Delta U_t$ . У міру віддалення трансформаторів від ЦП (що виражається в збільшенні  $\Delta U_c$ ), рівень напруги на шинах 10 кВ буде знижуватися у відповідності з лінією 1 (рис. 7.2).

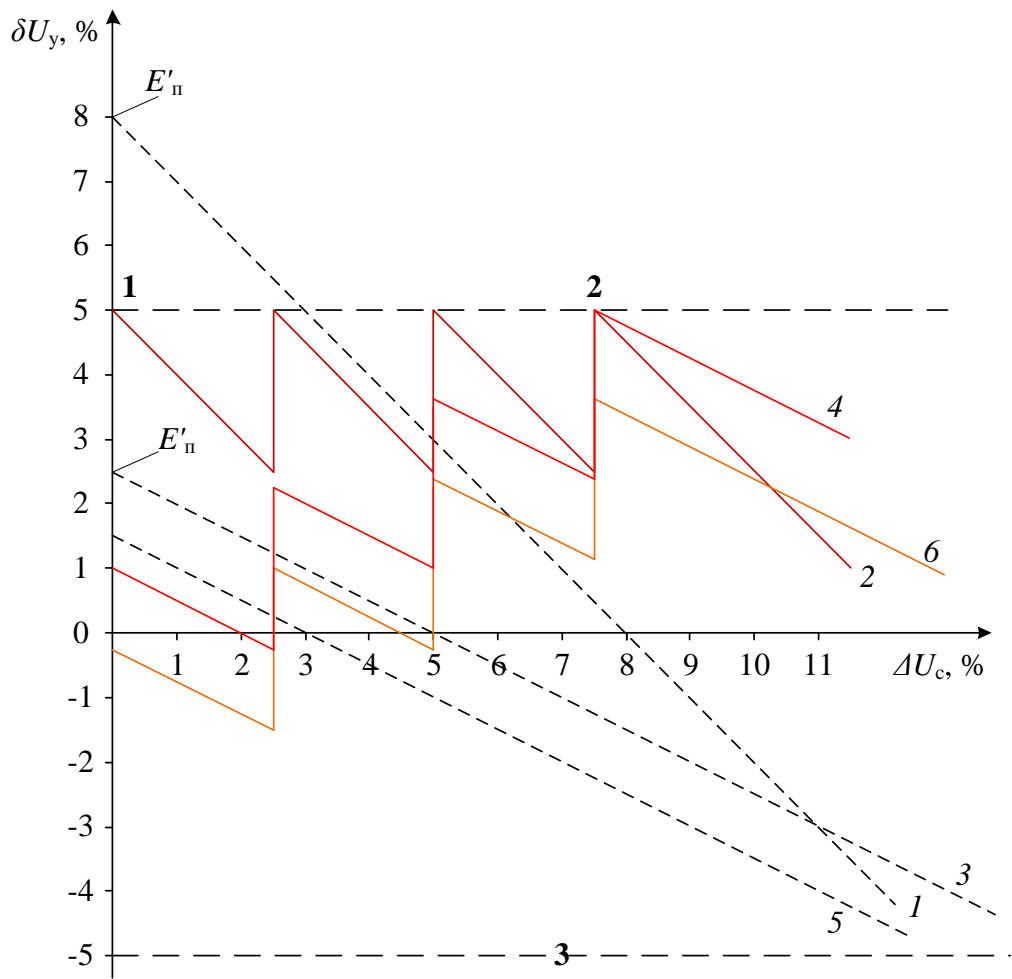


Рис. 7.2.

Для забезпечення нормального відхилення; в режимі мінімальних навантажень визначаються дві добавки  $E''_{п\text{ верх.}}$  и  $E''_{п\text{ нижн.}}$ .

Верхня допустима межа визначається для шин 0,4 кВ найближчого РТ з максимальною надбавкою напруги  $E_T$  (пряма 3, рис. 7.2).

$$E'_{п(в)} = \delta U_{у\text{ доп}}^B - E_{T\text{ max}} + \beta(\Delta U_c + \Delta U_T + \Delta U_H). \quad (7.10)$$

В даному випадку  $\Delta U_H = 0$ , тобто

$$E'_{п(в)} = \delta U_{у\text{ доп}}^B - E_{T\text{ max}} + \beta(\Delta U_c + \Delta U_T) \quad (7.11)$$

Нижня допустима межа визначається до найбільш віддаленого споживача в мережі 0,38 кВ, підключеного до шин останнього РТ з найменшою добавкою напруги (пряма 5, рис. 7.2).

$$E'_{п(н)} = \delta U_{удоп}^B - E_{тmin} + \beta(\Delta U_c + \Delta U_t + \Delta U_n) \quad (7.12)$$

Для мереж с однорідними навантаженнями при правильно вибраному законі зустрічного регулювання і відповідної розстановці відгалужень на РТ можуть бути забезпечені прийнятні відхилення напруги на затискачах електроприймачів при найбільшій втраті напруги  $\Delta U_c = 12-13\%$ .

Число ступенів, що використовуються визначається за формулою:

$$n = \frac{\Delta U_{c\max}}{\Delta E_t}, \quad (7.13)$$

де  $\Delta U_{c\max}$  – максимальна втрата напруги в мережі;  $\Delta E_t$  – добавка напруги на одному ступені регулювання.

Вибір відгалужень проводиться за таблицею:

$n_{ст}$	1	2	3	4	5
$E_t$	0	2,5	5	7,5	10
$\Delta U_c$	0+2,5	2,5+5	5+7,5	7,5+10	10+12,5

Відхилення напруги на шинах 0,4 кВ РТ в максимальному режимі зображено на рис. 7.2 у вигляді пилкоподібної лінії 2. А в максимальному режимі – лініями 4 і 6, відповідно з урахуванням верхньої і нижньої меж регулювання.

## 7.2. Інструкція по роботі з програмним забезпеченням

Комплекс призначений для вирішення широкого кола завдань розрахунку і оптимізації режимів і параметрів розподільних електричних мереж різного призначення, напругою 6-35 кВ.

Він є пакетом прикладних програм з декількома спеціалізованими базами даних (БД), написаних на алгоритмічній мові "Турбо-сі" в середовищі

операційної системи MS-DOS, і призначений для роботи на персональних комп'ютерах.

Бази даних IBK-СЕС призначені для зберігання вихідної інформації про параметри і режими елементів електричної мережі, її конфігурації, режимах роботи джерел живлення (ІП) і споживачів електроенергії СЕС (у вигляді графіків навантаження), і є основою для проведення всіх видів розрахунків здійснюваних комплексом IBK-СЕС. Вихідною інформацією, що зберігається в БД, є:

1. Інформація про гілки мережі, що дозволяє відобразити конфігурацію електромереж різної номінальної напруги і що містить:
  - 1) характеристики початкових і кінцевих вузлів гілок (тип, номер, секція шин, вид і стан комутаційного апарату);
  - 2) марки проводів і кабелів, якими виконані гілки і їх довжини;
  - 3) марки розподільних трансформаторів і положення їх робочих відгалужень ПБВ;
  - 4) навантаження низьковольтних шин ТП і РП;
  - 5) втрати напруги до видалених споживачів в мережі 0,38 кВ і інші характеристики.
2. Інформація про графіки навантаження і напруги на ІП і лініях, що відходять, а також про споживання електроенергії по ним.
3. Інформація по типових (або реальних) графіках навантаження споживачів СЕС.
4. Довідкова (або паспортна) інформація про марки трансформаторів і їх параметри.
5. Довідкова інформація про марки проводів, кабелів і реакторів і їх параметри.
6. Довідкова (або паспортна) інформація про марки дугогасячих котушок (реакторів) і їх параметри.
7. Значення струмів трифазного КЗ (або опорів  $X_{\text{сист.}}$ ) на шинах ТП в максимальному і мінімальному режимах роботи енергосистеми.

Для введення і коректування первинної інформації в БД розроблений спеціальний редактор, за допомогою якого здійснюється введення даних як безпосередньо з клавіатури, так і з текстових файлів, заготовлених заздалегідь. При цьому виробляється синтаксичний і семантичний контроль інформації, що вводится.

У комплексі реалізований підхід, що дозволяє за даними, занесеними в БД, представляти на екрані монітора схему електричної мережі в кольоровому зображенні, з накладенням на неї параметрів розрахункового режиму, без попередньої роботи по "рисунку" користувачем схеми мережі. Крім того, є можливість видачі вказаної схеми на принтер.

### **7.3. Робоче завдання**

1. При попередній підготовці для заданої електропостачальної системи (ЕПС), схему якої наведено на рис. 7.3, необхідно:

- 1) вибрати необхідні відгалуження регуляторів напруги розподільних трансформаторів ліній на напругу 10 кВ та визначити закон регулювання напруги в центрі живлення (ЦЖ).
- 2) виконати розрахунки з оптимізації режим напруги за допомогою «ИВК СЭС».

2. У звіті мають бути представлені:

- 1) розрахункові схеми і їх параметри;
- 2) результати аналітичних розрахунків;
- 3) результати лабораторної перевірки;
- 4) висновки по кожному з експериментів.

Вихідні дані в табл. 7.1, 7.2, 7.3 ( $\cos\varphi=0.92$ ,  $S_1=3400$  МВА).



Таблиця 7.1.

Параметри вузлів

	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
	Трансфор-матор	на стороні 0,4кВ,	Трансфор-матор	на стороні 0,4кВ,	Трансфор-матор	на стороні 0,4кВ,	Трансфор-матор	на стороні 0,4кВ,	Трансфор-матор	на стороні 0,4кВ,
ТП1	ТМ-630	635,5	ТМ-400	403,2	ТМ-630	635,5	ТМ-400	403,2	ТМ-400	403,2
ТП2	ТМ-400	403,2	ТМ-630	635,5	ТМ-630	634,4	ТМ-630	634,4	ТМ-400	401,8
ТП3	ТМ-400	401,8	ТМ-630	636,1	ТМ-630	636,1	ТМ-630	635,9	ТМ-400	402,1
ТП4	ТМ-400	402,1	ТМ-400	402,1	ТМ-630	635,9	ТМ-630	636,1	ТМ-400	400,9

Таблиця 7.2.

Параметри ліній (всі кабелі марки «АПвЭгП»)

	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
Лінія	Переріз, мм²	Довжина лінії, км	Переріз, мм²	Довжина лінії, км	Переріз, мм²	Довжина лінії, км	Переріз, мм²	Довжина лінії, км	Переріз, мм²	Довжина лінії, км
ЦЖ-РП	120	1,7	120	1,7	120	1,7	120	1,7	120	1,7
РП-ТП1	50	0,580	50	0,580	50	0,580	50	0,580	50	0,580
ТП1-ТП2	50	0,370	50	0,370	50	0,370	50	0,370	50	0,370
ТП2-ТП3	50	0,450	50	0,450	50	0,450	50	0,450	50	0,450
ТП3-ТП4	50	0,420	50	0,420	50	0,420	50	0,420	50	0,420

Таблиця 7.3.

Характеристики кабелів

Марка	U <sub>н</sub> , кВ	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>доп</sub> , А
АПвЭгП-10 3х35	10	0,9	0,095	119
АПвЭгП-10 3х50	10	0,6	0,09	140
АПвЭгП-10 3х70	10	0,4	0,086	171
АПвЭгП-10 3х95	10	0,3	0,083	203
АПвЭгП-10 3х120	10	0,3	0,081	232

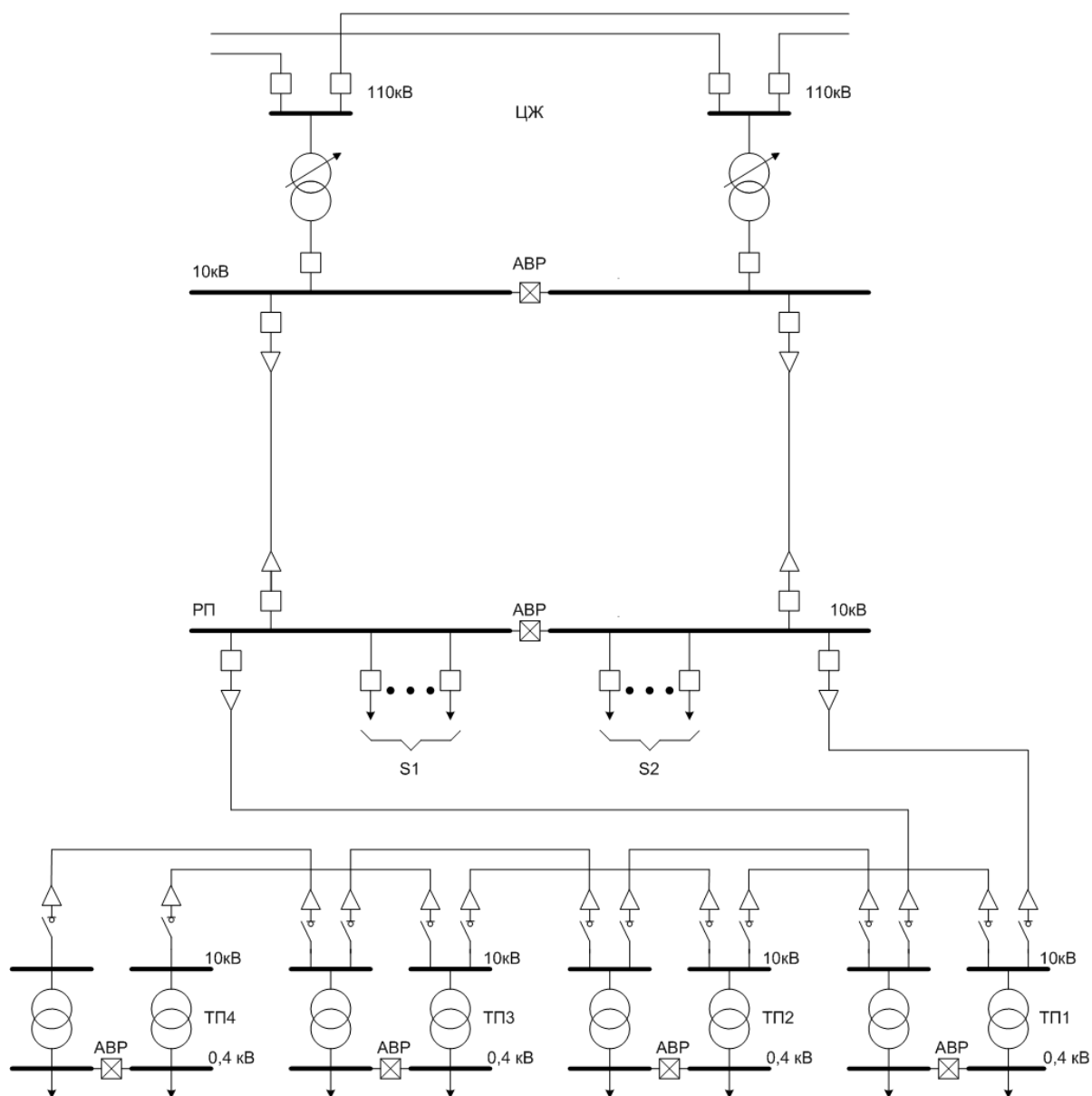


Рис. 7.3. Схема електропостачання

#### 7.4. Рекомендації до виконання роботи

Зазначаємо об'єкт. Заходимо в меню «Расчет» → «Установки» → «Объект». Натискаємо пробіл і вибираємо ПС1. Як показано на рис. 7.4.

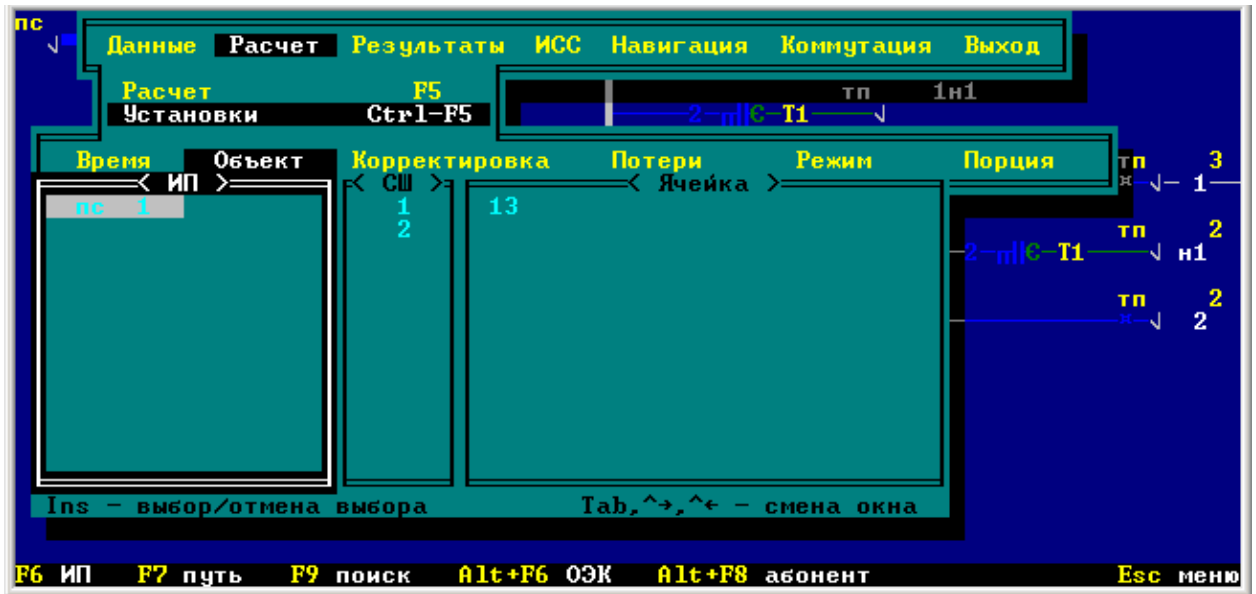


Рис. 7.4.

Проводимо розрахунок. Заходимо в меню «Расчет» → «Расчет» → «Оптимизация режима напряжения» → «Выполнить оптимизацию с учетом статических характеристик ЭП? – Нет» → «3 – Выбор ответвлений ПБВ в трансформаторах» → «F4» → «F4» → «Выполнить корректировку положений рабочих ответвлений ПБВ трансформаторов? – Нет»

Хід розрахунку показаний на рис. 7.5–7.7.

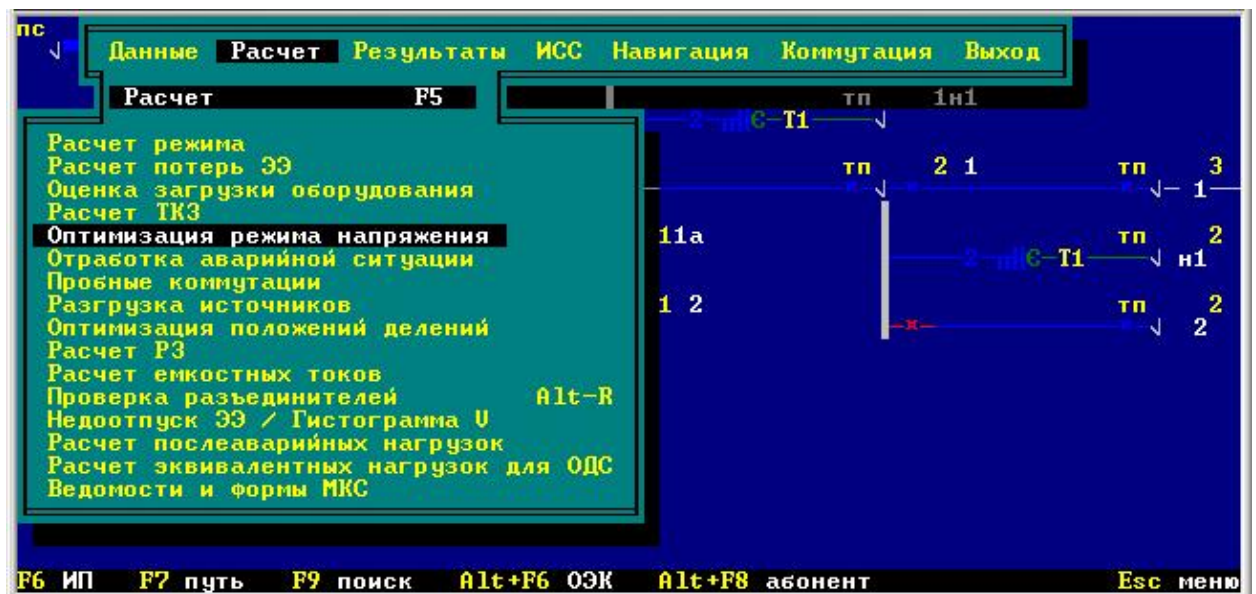


Рис. 7.5.

ПОТЕРИ, ПРОПУСК И ПОТРЕБЛЕНИЕ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ Э.Э. в ЦП									
Источник питания		Расчетный режим	Пропуск Э.Э. за Рассч.Сутки [МВт*Ч]	Некачественная Эл.Энергия [%]		Потери ЛЭП МВт*Ч	Эл. Энергии в тр-рах[МВт*Ч]		Суммар потери МВт*Ч
N п/п				v>5%	v<5%		в меди	в стали	
пс 1	1 1	Исход. Новый	73.00	0.00	5.78	1.374	0.152	0.125	1.651
			73.01	1.29	0.00	1.374	0.152	0.125	1.651
пс 2	1 2	Исход. Новый	73.00	0.00	5.78	1.374	0.152	0.125	1.651
			73.01	1.29	0.00	1.374	0.152	0.125	1.651

L=86C=1F2 подсказкаF4 продолжитьF10 выход

Рис. 7.6.

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

Изменение ответвлений ПБВ тр-ров

N п/п	Наимено- вание Узла		Номер тр-ра	Ответвление ПБВ тр-ра				Источник Питания Узла
				Исх	Ет, [%]	Опт	Ет, [%]	
1	тп	1 1	1	2	-2.5	3	0.0	пс 1 113
2	тп	3 1	1	2	-2.5	3	0.0	пс 1 113
3	тп	4 1	1	2	-2.5	3	0.0	пс 1 113
4	тп	2 1	1	2	-2.5	3	0.0	пс 1 113
5	тп	1 2	2	2	-2.5	3	0.0	пс 1 214
6	тп	2 2	2	2	-2.5	3	0.0	пс 1 214
7	тп	3 2	2	2	-2.5	3	0.0	пс 1 214
8	тп	4 2	2	2	-2.5	3	0.0	пс 1 214

F4 , Enter - продолжениеEsc - выход

Рис. 7.7.

Запропоновані програмою відгалуження трансформатора з ПБЗ занести до протоколу.

По завершенню задачі запропоновані значення занести в бланк «Замеры» виконавши наступні дії: «Данные»→«Замеры» →«Вся БД». В стовпчику  $N_{\text{отв}}$  вказуємо запропоновані відгалуження.

Ще раз виділяємо об'єкт і знову проводимо розрахунки.

Визначаємо закон регулювання. Виділяємо об'єкт і проводимо визначення закону регулювання напруги в ЦЖ: «Расчет» → «Расчет» → «Оптимизация режима напряжения» → «Выполнить оптимизацию с учетом статических характеристик ЭП? – Нет» → «1 – Определение закона регулирования напряжения в ЦЖ» → «Продолжение» → «Enter» → «Enter» → «F4» (кілька разів). На даному етапі з графіків записуємо дані результатів.

Таблиця втрат, пропуску і споживання неякісної електроенергії в ЦЖ показана на рис. 7.8.

Источник питания		Расчетный режим	Пропуск Э.Э. за Рассч.Сутки [МВт*Ч]	Некачественная Эл.Энергия [%]		Потери ЛЭП МВт*Ч	Эл. Энергии в тр-рах [МВт*Ч]		Суммар потери МВт*Ч
N	п/п			υ>5%	υ<5%		в меди	в стали	
пс	1 1	Исход.	73.00	0.00	5.78	1.374	0.152	0.125	1.651
	1	Новый	73.00	0.00	0.00	1.374	0.152	0.127	1.653
пс	2 1 2	Исход.	73.00	0.00	5.78	1.374	0.152	0.125	1.651
	2	Новый	73.00	0.00	0.00	1.374	0.152	0.127	1.653

L=107 C=1 F2 подсказка F4 продолжить F10 выход

Рис. 7.8.

## 7.5. Контрольні питання

1. Як розрахувати уставку по напрузі?
2. Як розрахувати уставку струмової компенсації?
3. Що таке зона нечутливості і як вона відділяється?
4. Навіщо необхідно виставляти витримку часу?
5. Як визначається закон регулювання в ЦЖ?
6. У чому полягає принцип зустрічного регулювання?
7. Як виставляються відгалуження на мережевих трансформаторах?